

59. ÉVFOLYAM
2. SZÁM

KÖZLEKEDÉSÉPÍTÉSI SZEMLÉ

2009. FEBRUÁR

FELELŐS KIADÓ:
Kerékgyártó Attila mb. főigazgató

FELELŐS SZERKESZTŐ:
Dr. Koren Csaba

SZERKESZTŐK:
Fischer Szabolcs
Dr. Gulyás András
Dr. Petőcz Mária
Rétháti András

CÍMLAPFOTÓ
ÉS A BORÍTÓ 2. OLDALÁN:
Aszfaltrácsok vizsgálata

KÖZLEKEDÉSEPÍTÉSI SZEMLE
Alapította a Közlekedéstudományi
Egyesület.
A közlekedésepítési szakterület
mérnöki és tudományos havi lapja.

HUNGARIAN REVUE OF
TRANSPORT INFRASTRUCTURE
INDEX: 163/832/1/2008

KIADJA:
Közlekedésfejlesztési
Koordinációs Központ
1024 Budapest, Lövőház u. 39.

SZERKESZTŐSÉG:
Széchenyi István Egyetem,
UNIVERSITAS-Győr Nonprofit Kft.
9026 Győr, Egyetem tér 1.
Telefon: 96 503 452
Fax: 96 503 451
E-mail: koren@sze.hu, petocz@sze.hu

DESIGN, NYOMDAI MUNKA,
HIRDETÉSEK, ELŐFIZETÉS:

Press GT Kft.
1134 Budapest, Üteg u. 49.
Telefon: 349-6135
Fax: 452-0270;
E-mail: info@pressgt.hu
Internet: www.pressgt.hu
Lapigazgató: Hollauer Tibor
Hirdetési igazgató: Mező Gizi

A cikkekben szereplő megállapítások és adatok a szerzők véleményét és ismereteit fejezik ki és nem feltétlenül azonosak a szerkesztők véleményével és ismereteivel.

TARTALOM

BOCZ PÉTER – DEVECSERI GABRIELLA – DR. FI ISTVÁN – JOÓ ATTILA – KOVÁCS DÁNIEL – DR. PETHŐ LÁSZLÓ Aszfaltrácsok szerepe megerősített és szélesített útpályaszerkezetekben	1
ÉZSIÁS LÁSZLÓ Földművizsgálati módszerek megbízhatóságának elemzése	15
DR. KOREN CSABA – BORSOS ATTILA Közúti beavatkozások biztonsági hatékonysága	24
DR. KÁLMÁN LÁSZLÓ – PUSZTAI PÁL A mohó halmazlefogási heurisztika alkalmazása az elektronikus díjszedési rendszer tervezéséhez	29
MOLNÁR LÁSZLÓ AURÉL Cél és toporgás	34
DR. HABIL. JANKÓ LÁSZLÓ Az Eurocode gazdasági következményeiről	38

ASZFALTRÁCSOK SZEREPE MEGERŐSÍTETT ÉS SZÉLESÍTETT ÚTPÁLYASZERKEZETEKBE

BOCZ PÉTER¹ – DEVECSERI GABRIELLA² – DR. FI ISTVÁN³ – JOÓ ATTILA⁴ – KOVÁCS DÁNIEL⁵
– DR. PETHŐ LÁSZLÓ⁶

1. BEVEZETÉS

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Út és Vasútépítési Tanszéke a Magyar Közút Kht. megbízásából 2008 júniusában Meglévő útpályaszerkezetek megerősítésének méretezése, felújítás-technológiák I.–II. rész címmel tanulmányt készített. Ennek a kutatómunkának egyik részfeladata az „Aszfaltrácsok szerepének vizsgálata, illetve kutatása a felújítások megerősített keresztmetszeteiben és a szélesítésekben” címet viselte. A BME Útépítési laboratóriumában elvégzett vizsgálat-sorozattal először az aszfalthálók különböző igénybevételek hatására történő viselkedését, majd ezt követően az útpályaszerkezetekbe épített aszfalterősítő hálóknak az útpályaszerkezet tulajdonságaira kifejtett hatását laboratóriumi körülmények között kívántuk elemezni. A kutatás céljai közé tartozott annak vizsgálata is, hogy a különböző funkciók ellátására betervezett és beépített aszfalterősítő hálók alkalmasak-e feladatuk ellátására. Amennyiben nem, úgy arra a kérdésre kerestük a választ, hogy milyen technológiai megfontolások szükségesek ahhoz, hogy az aszfalterősítő háló alkalmazásával kitűzött célt jobb hatásokkal lehessen elérni.

Mivel a közlekedési létesítmények empirikus méretezési gyakorlata mellett megjelent az igény az analitikus, mechanikai alapú méretezésre, mely által az útpályaszerkezetekbe épített anyagok teljesítménye mérhetővé válik, lehetőséget teremtve az alapos műszaki-gazdasági tervezéshez, a kutatómunka során végelelemes módszerrel is modelleztünk néhány vizsgálatot.

2. A VIZSGÁLATOK TÍPUSAI

Különböző hálókat, aszfalterősítő anyagokat régóta alkalmaznak az útépítésben. Már az 1950-es években végeztek kísérleteket kerítéshálók aszfaltburkolatba történő beépítésével annak érdekében, hogy megakadályozzák a betonburkolat dilatációjának a ráépített aszfalton való át-tükröződését. Az idő előrehaladtával számtalan hálótípus alakult ki, továbbá megkezdődött a földművekben alkalmazott geotextíliák aszfaltburkolatban való kipróbálása is. Ennek köszönhetően napjainkban az útburkolat-felújítások és -megerősítések eszközkészletébe már nem csak az alaprétegek és az aszfaltrétegek anyagai tartoznak bele, hanem

1. táblázat: A vizsgált hálótípusok

Jel	Háló típusa	Szakító szilárdság	Megjegyzés
1. vizsgálati csoport			
0	Háló nélkül, referencia		
A	ARTER GTSA 50-50-35	50 kN/m	Hordozóréteg nélküli
V	ARTER GTSV 50-50-35	50 kN/m	Szövet hordozóanyagú
2. vizsgálati csoport			
1	Háló nélkül, referencia		
2	Roadtex GR-G50-es háló	50 kN/m	Szövet hordozóanyagú
3	Roadtex GR-G100-as háló	100 kN/m	Szövet hordozóanyagú
4	Roadtex GR-G200-es háló*	200 kN/m	
5	S&P Glasphalt G háló	120 kN/m	Hordozóréteg nélküli, üvegszál erősítésű
6	S&P Carbophalt G háló*	200 / 120 kN/m	Hordozóréteg nélküli, szénaszál erősítésű
3. vizsgálati csoport			
0	Háló nélkül, referencia		
1	Gradex		Szénaszál erősítésű, szövet-hordozójú
2	Gradex		Szénaszál erősítésű, szövet-hordozójú
3	Gradex Alpha Mesh GR-G		Üvegszál erősítésű, szövet-hordozójú
4	S&P Glasphalt G		Üvegszál erősítésű, hordozó nélküli
8	Gradex Alpha Mesh GR-G		Üvegszál erősítésű, szövet-hordozójú, fordított beépítés (a szövet-hordozó néz felfelé)

¹ Okleveles építőmérnök, egyetemi adjunktus, BME Út és Vasútépítési Tanszék, e-mail: bocz@uvt.bme.hu

² Okleveles építőmérnök, tanszéki mérnök, BME Út és Vasútépítési Tanszék, e-mail: devecseri@uvt.bme.hu

³ Okleveles építőmérnök, egyetemi tanár, BME Út és Vasútépítési Tanszék, e-mail: fi@uvt.bme.hu

⁴ Okleveles építőmérnök, egyetemi adjunktus, BME Hid és Szerkezetek Tanszéke, e-mail: ajoo@epito.bme.hu

⁵ Okleveles építőmérnök, doktorandusz, BME Hid és Szerkezetek Tanszéke, e-mail: dkovacs@epito.bme.hu

⁶ Okleveles építőmérnök, egyetemi adjunktus, BME Út és Vasútépítési Tanszék, e-mail: petho@uvt.bme.hu

a különböző aszfalthálók is. Az aszfalthálók alkalmazásának több célja lehet:

1. egyes rétegek megerősítése
2. a rétegek közötti elválasztó hatás fokozása

Minden esetben olyan típusú hálót kell beépíteni, amely azt a típusú viselkedést produkálja, amelyet az adott cél elérése érdekében elvárunk.

A gyakorlatban alkalmazott sokféle háló közül a vizsgálati körbe két, jellegében eltérő hálófajtát vontunk be: szövethordozójú és hordozó nélküli hálókat. Mindkét típusból eltérő gyártmányú és szakítószilárdságú hálókat is vizsgáltunk.

A próbatesteket méretbeli és gyártási technológiai korlátai miatt csak kisebb szemmagyságú anyagokból (AB-12, AB-8) tudtuk elkészíteni. Első lépésként elkészítettük a 4 cm vastag alsó aszfaltréteget, majd erre az aszfaltrétegre a technológiai előírásnak megfelelően ragasztottuk le a hálókat. Az így elkészített próbatestre vibrációs tömörítéssel „építettük rá” a második aszfaltréteget.

A vizsgálat során megnyugtatóbb végeredményeket kaptunk volna abban az esetben, ha a vizsgálathoz felhasznált mintákat valódi beépítési helyekről tudtuk volna kivenni (de az összes hálótípust beépített környezetben sem lehetne azonos burkolati rétegekkel vizsgálni). A laboratóriumi próbatestgyártás ugyanis nem tudja biztosítani a beépítésnél alkalmazott hengerek hatását. Természetesen az azonos módon elkészített próbatesteken végzett vizsgálatok eredményei a hálótípusok összehasonlítását lehetővé tették. Vizsgálataink tehát minden esetben összehasonlító jellegűek voltak, azaz az azonos aszfaltrétegekből háló nélkül készült próbatestekhez hasonlítottuk a hálóval vagy aszfaltráccsal készített próbatestek eredményét.

Tekintettel arra, hogy a vizsgálatainkat három különböző vizsgálatsorozat keretében hajtottuk végre, így csak az egy vizsgálati csoportba tartozó próbatestek vizsgálati eredményei voltak összehasonlíthatók. A vizsgált hálótípusokat az 1. táblázatban soroljuk fel.

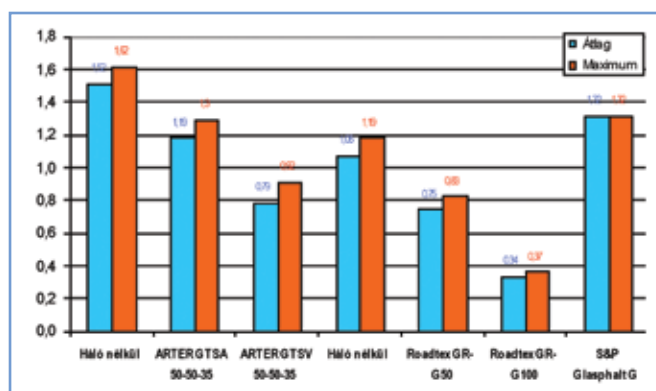
Az aszfalthálók és rácsok viselkedésének, a hálók aszfaltra gyakorolt hatásának ellenőrzésére az alábbi vizsgálatokat végeztük el:

1. elcsúszásvizsgálat
2. feltépésvizsgálat
3. dinamikus hajlításvizsgálat
4. elcsúszás, együttműködés, plasztikus alakváltozás vizsgálata
5. széles sávú szakítóvizsgálat
6. triaxiális vizsgálat
7. ARH repedési hőmérséklet vizsgálata

Az útépitési laboratórium aszfaltmechanikai vizsgálatai közül azokat választottuk ki a hálók hatásának elemzésére, amelyek a háló és az aszfaltrétegek együttműködését, illetve a hálónak az aszfaltra gyakorolt hatását mutatják. Az alábbiakban bemutatjuk a kísérletek végrehajtásának módját és a kapott eredményeket, illetve azok értékelését.

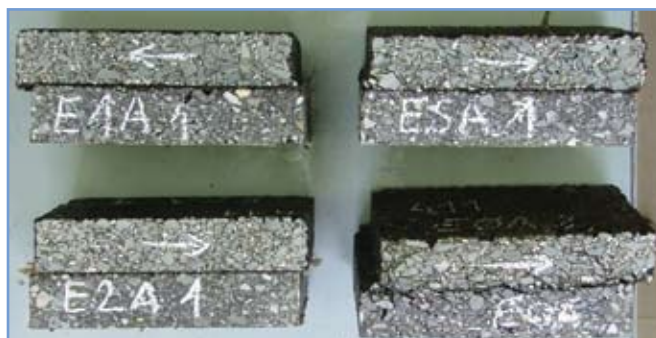
RÉTEGEK KÖZÖTTI ELCSÚSZÁS VIZSGÁLATA

Az elemzés célja meghatározni azt a maximális nyíróerőt, ami a két aszfaltréteg között a felületre merőleges és azzal párhuzamos igénybevétel során fellép. A vizsgálat anyagiban más, mint az egyébként ismert réteghatáron végzett nyírásvizsgálat, hogy itt a felület nyomva is van. Alapvetően hídszigetelések ellenőrzését végzik ezzel a módszerrel.



1. ábra: Nyírószilárdsági értékek az elcsúszásvizsgálat során

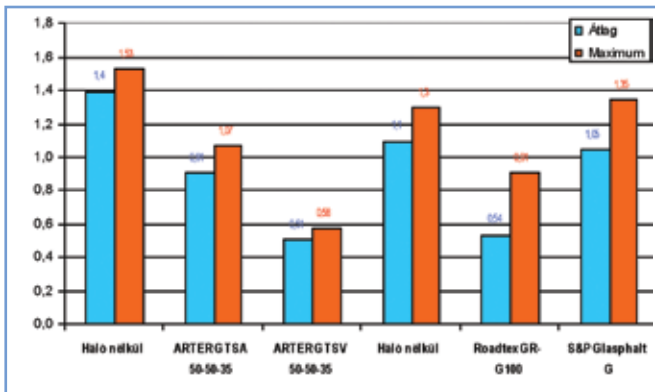
Az 1. ábrán szerepel a nyírószilárdság átlaga és maximuma. A nyírószilárdságok jelentősen változtak, ezek értékét különösen befolyásolja a gyártás. Az eredményekből látható, hogy a legjobb együttműködést a háló nélküli, illetve az S&P Glasphalt G típusú hálóval készült próbatest adta. A szövet hordozóanyagú hálók szakítószilárdsági eredménye lett a legkisebb, a kettő között helyezkedik el az ARTER GTSA típusú rács. A vizsgálat során tehát megállapítható, hogy a szövet hordozójú hálók elválasztóréteggé működnek. A hordozó nélküli hálók eredménye a rács sűrűségének és a rácsot alkotó anyag merevségének függvényében a háló nélküli próbatestek eredményeihez van közelebb, tehát elválasztó hatást nem olyan mértékben idéz elő, mint a szövethordozójú hálók. A hordozóanyag nélküli és háló nélküli próbatestek esetén biztosított a hídszigetelések esetén elvárt 1,0 N/mm² nyírószilárdság. A próbatestek fényképei a művelet végrehajtása után a 2. ábrán láthatók.



2. ábra: A próbatestek az elcsúszásvizsgálat végrehajtása után

FELTÉPÉSVIZSGÁLAT

A vizsgálat szintén a rétegek együttműködésének, a felületi bevonatok tapadásának elemzésére irányul. Eredetileg a burkolatból kifúrt Ø150 mm-es magmintát használunk a vizsgálathoz, amelynek elvárt értéke 1,0 N/mm² szakítószilárdság. E speciális esetben 200×140 mm-es próbatestbe fúrtuk be a Ø100 mm átmérőjű feltépési helyet, a felső réteget teljes mértékben, az alsó réteget pedig 1 cm mélyen fúrjuk át. Ezt követően ragasztottuk fel a feltépőfejet. A feltépést +10 °C hőmérsékleten hajtottuk végre. Tekintettel arra, hogy a vizsgálat során a használati irányra merőleges igénybevétel keletkezik, így a hálók szakítószilárdsága a vizsgálatot egyáltalán nem befolyásolja. Ezért az azonos típusú, eltérő szakítószilárdságú hálók közül csak egyet vizsgáltunk. A vizsgálatot csak az 1. és 2. vizsgálati csoportba tartozó rácsokon végeztük el.



3. ábra: Felültre merőleges szakítószilárdság értékei az elcsúszás-vizsgálat során

Az eredmények átlag, maximum és minimum értékeit a 3. ábra mutatja be. A vizsgált próbatestek a 4.–5. ábrákon szerepelnek. Ahogyan a képeken látható, az elválás minden esetben a réteghatáron, a hálónál következett be. Igen érdekes jelenség, hogy a hálók, annak ellenére, hogy eredetileg az alsó rétegre voltak ragasztva, attól elváltak, a felső réteghöz jobban tapadnak. A jelenséget elsősorban azzal tudjuk magyaráz-

ni, hogy a felső, melegen rátömörített aszfalt anyaga jobban kötődik a hálóhoz, ezt elősegíti annak impregnálása is. (A két érték a vizsgálat hibatartományán belül van, tehát nem tekinthető mértékadónak, hogy az S&P hálóval kapott érték kissé nagyobb.)

Az elvárt értéket a hálóval készített próbatestek nem biztosították, a szövet hordozóanyagú hálók alatta maradnak az 1,0 N/mm² szakítószilárdság-értéknek, amely eredményért a háló aszfaltrétegeket elválasztó jellegét lehet okolni. A rács-szerkezetű anyagok esetén a maximális érték elérte az 1,0 N/mm² szakítószilárdság-értéket, az átlag az egyik (ARTER GTSA típus) esetében valamivel alatta maradt. A hordozó nélküli hálók esetében – csakúgy mint a háló nélküli próbatestek esetében – az aszfalt–aszfalt tapadás dominál.

Ez a vizsgálat fokozottan mutatott rá arra, hogy a laboratóriumi körülmények között készített próbatestek rétegeinek együttdolgozása nem tökéletes, a vibrátorral nem lehet pótolni a beépítésnél alkalmazott hengerek statikus súlyát. Mivel ez a vizsgálat kifejezetten fűrt magmintákhoz lett kialakítva, szerencsés lenne a tényleges beépítésből kifűrt mintát vizsgálni. Természetesen az azonos módon készült próbatestek – hálók viselkedésének összehasonlítására alkalmas a vizsgálat.



4. ábra: GR-G100 háló feltépvizsgálat után



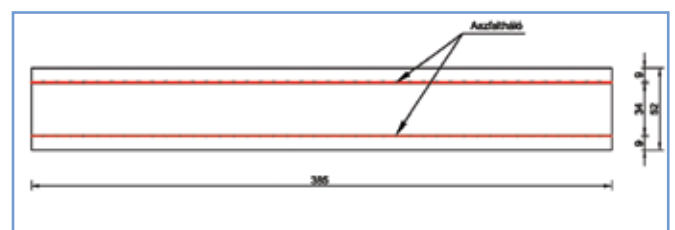
5. ábra: S&P Glasphalt G háló feltépvizsgálat után

KÉTIRÁNYÚ HAJLÍTÓ-FÁRASZTÓ VIZSGÁLAT

A kétirányú hajlító-fárasztó vizsgálatot négypontos hajlító vizsgálatot hajtottuk végre. Az ehhez használt próbatestek 5 cm magasságúak. Mivel a háló hatását, a rétegekkel való együttdolgozását kívántuk ellenőrizni, a próbatesteket többféleképpen állítottuk elő. Az 1. és 2. vizsgálati csoportba tartozó próbatestek esetében a felső réteg teljes vastagságú maradt, az alsó réteg vastagságából pedig annyit vágtunk le, hogy 1 cm vastagság maradt (6. ábra); a 3. vizsgálati csoport esetében azonban a próbatest mindkét szélő szálába hálót helyeztünk el (lévén az igénybevitel kétirányú, tehát egyszer az alsó, másszor a felső szélő szál a húzott (7. ábra).



6. ábra: A hajlításvizsgálathoz készült próbatestek (1. és 2. vizsgálati csoport)



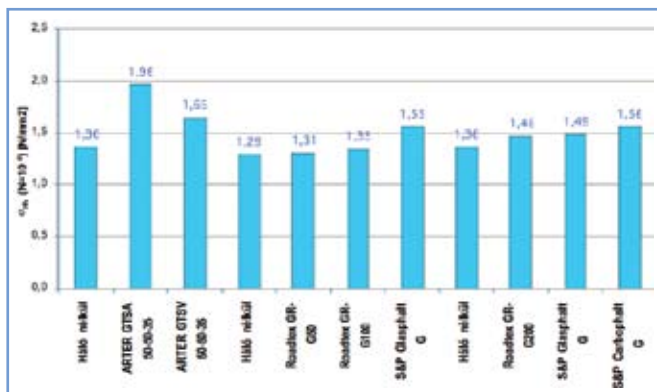
7. ábra: A hajlításvizsgálathoz készült próbatest sémája (3. vizsgálati csoport)

A vizsgálatot összesen négy vizsgálati csoportban végeztük el, mert a 2. vizsgálati csoportba tartozó rácsokkal készült próbatest esetén nem volt elegendő az aszfaltanyag, így ott is két vizsgálati csoportot alkottunk. Mivel az aszfaltanyagok fáradási tulajdonsága között eltérés van, ezért a sorozatok egymással megbízhatóan nem vehetők össze, csupán az azonos aszfaltanyagokból készült próbatestsorozatok.

A vizsgálat sorozatban a hálók élettartamra gyakorolt hatására voltunk kíváncsiak, ezért az azonos változatban is eltérő hajlítógérvetellel hajtottuk végre a vizsgálatot. Az így kapott eredmények alapján lehetett meghatározni az adott változat élettartam-egyenését. Mivel az élettartam-egyenese hajlása és magassága együtt jellemzi az aszfaltkeverék fáradási tulajdonságát, ezért összehasonlítás érdekében az 1 millió ($n = 10^6$) ismétlési számhoz tartozó igénybevétel határozta meg. A vizsgálat kétféle módszerrel hajtható végre:

- Erővezérléssel:** ez esetben a hajlítóvizsgálat során a terhelőerő változatlan, és a merevség csökkenésével egyre nagyobb elmozdulásértékek következnek be;
- Elmozdulásvezérléssel:** ez esetben a hajlító-fárasztó vizsgálat során a középső keresztmetszet elmozdulását (lehajlását) állítjuk be, majd a berendezés vezérlése biztosítja, hogy a vizsgálat lefolytatása során ez az érték állandó maradjon. Ezt – a merevség csökkenése miatt – a fárasztóerő folyamatos, vezérelt csökkentésével lehet követni.

Az 1. és 2. vizsgálati csoportba tartozó hálók vizsgálatát erővezérléssel, a 3. vizsgálati csoportba tartozó háló vizsgálatát elmozdulásvezérléssel végeztük el. Ez esetben különösen igaz az a megállapítás, hogy az egyes csoportok között összehasonlítást nem lehet végezni, lévén nem csak az alkalmazott aszfaltkeverék, a próbatest elkészítési módja, hanem még a vizsgálat lefolytatásának menete is különböző.

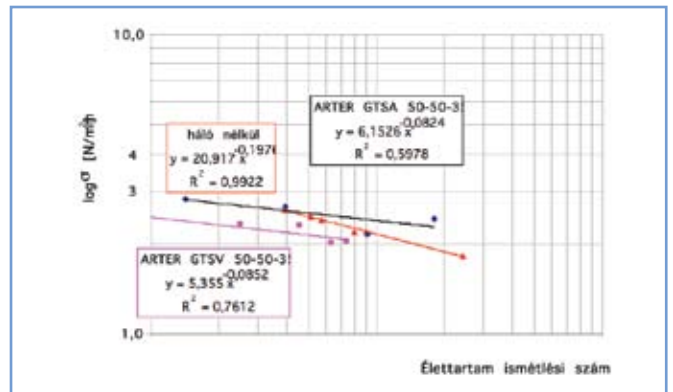


8. ábra: A hajlító-fárasztó vizsgálat $n = 106$ ismétléshez tartozó feszültségértékei

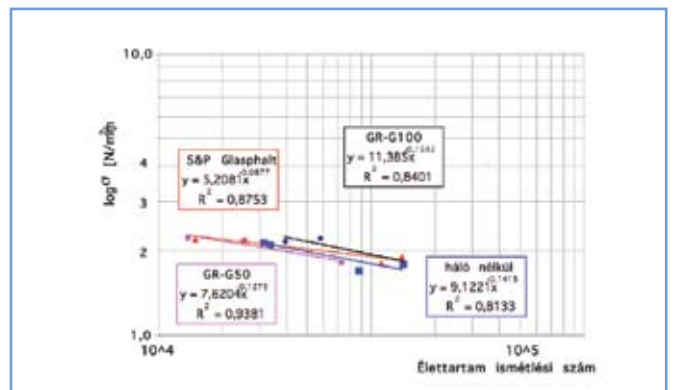
Az erővezérléssel lefolytatott, 1. és 2. vizsgálati csoportba tartozó rácsokkal kapcsolatos eredményeket a 8. ábrán adjuk közre. Ebben az esetben a fáradást jellemzi az $N = 10^6$ teherismétlési számhoz tartozó erőérték, amely azt hivatott jelezni, hogy azt az erőértéket alkalmazva a próbatest várhatóan pontosan $N = 10^6$ teherismétlési számnál megy tönkre.

A 9.–11. ábrán az egy vizsgálati csoportba tartozó vizsgálatok fáradási (élettartam-) egyenesei láthatók. A 12.–15. ábrákon pedig a 3. vizsgálati csoportban elmozdulásvezérléssel lefolytatott vizsgálatok eredményei követhetők.

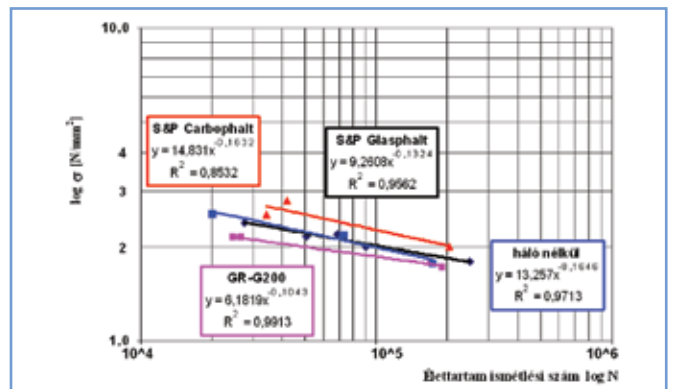
Az 1. és 2. vizsgálati csoport eredményei alapján látható, hogy a szövethordozójú hálók hasonlóan viselkednek a háló nélküli gyár-



9. ábra: A kétirányú hajlító-fárasztó vizsgálat fáradási egyenesei (1. vizsgálati csoport)



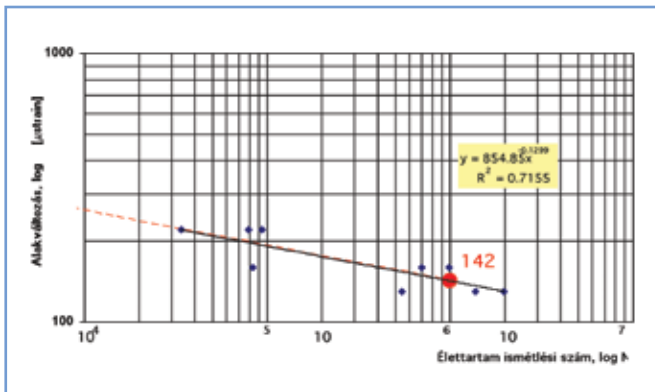
10. ábra: A hajlító-húzószilárdság élettartam-egyenesei (2. vizsgálati csoport, első aszfaltkeverék)



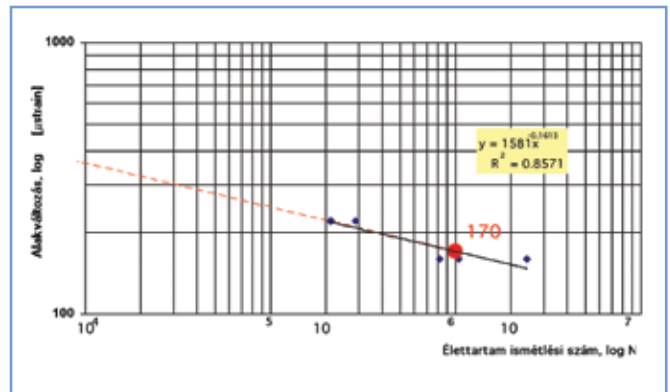
11. ábra: A hajlító-húzószilárdság élettartam-egyenesei (2. vizsgálati csoport, 2. aszfaltkeverék)

tott próbatestsorozatokhoz, vagyis közel azonos $N = 10^6$ ismétlési számhoz tartozó feszültséget produkálnak. A szövethordozójú hálók esetén két hatás jelentkezik. Egyrészt a háló elválasztóhatása, amelynek következtében a hajlító-húzószilárdság alacsonyabb lenne, de nyilván ezt ellensúlyozza az üvegszálrács, így összességében kissé magasabb érték adódik. Meg kell jegyezni, hogy ezek az értékek a vizsgálat ismétlésihiba-tartományán belül vannak.

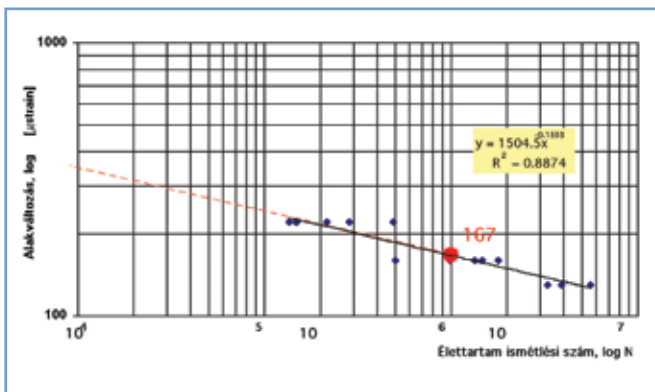
A hordozó nélküli hálók biztosítják az aszfaltrétegek együttdolgozását, és ehhez adódik az üvegszálháló erősítő hatása. Az eredmények alapján a referencia (háló nélküli) esethez képest a hordozó nélküli hálókkal 20–50%-os hajlító-húzószilárdság-növekedést lehet elérni.



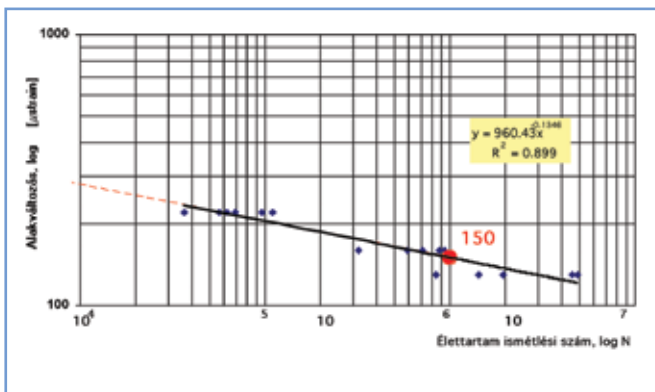
12. ábra: A hajlító-húzószilárdság élettartam-egyenese (3. vizsgálati csoport, referencia háló)



15. ábra: A hajlító-húzószilárdság élettartam-egyenese (3. vizsgálati csoport, 4. sz. rács: S&P, hordozó nélkül, hőlégfúvással ragasztva)



13. ábra: A hajlító-húzószilárdság élettartam-egyenese (3. vizsgálati csoport, 3. sz. háló: Gradex, szövethordozójú, üvegszál erősítésű)



14. ábra: A hajlító-húzószilárdság élettartam-egyenese (3. vizsgálati csoport, 4. sz. rács: S&P, hordozó nélkül, bitumenemulzióval ragasztva)

Az élettartam-egyenesek „b” hajlásának együtthatójából az következtetés vonható le, hogy az aszfaltrácsok úgy javítják meg az aszfalt élettartamát, hogy a bennük keletkező igénybevétel egy részét „átvállalják”. Ennek köszönhető, hogy az aszfaltok esetén szokásos $b = 0,16-0,20$ érték csak a háló nélküli esetben adódott, a hálókval $b \approx 0,09-0,10$, azaz fele akkora a fáradási egyenes hajlása. Tehát még az elválasztó jelleggel rendelkező, szövet hordozóanyagú aszfaltrács is javítja az élettartamot. Ez valószínűleg az impregnálás és a felső réteghez való tapadás eredménye. Amint látható, a hálós próbatetek eredményének szórása magasabb, ami az együttdolgozás minőségéből adódhat.

A 3. vizsgálati csoportba sorolt, elmozdulásvezérléssel lefolytatott vizsgálatok során megállapítható volt az a lehajlásérték, amelyet állandónak tartva a próbatest éppen $N = 10^6$ teherismétlés után megy tönkre. Ezek az eredmények is azt mutatták, hogy a rácsok beépítésével javult az $N=10^6$ teherismétlési számhoz tartozó megnyúlásérték.

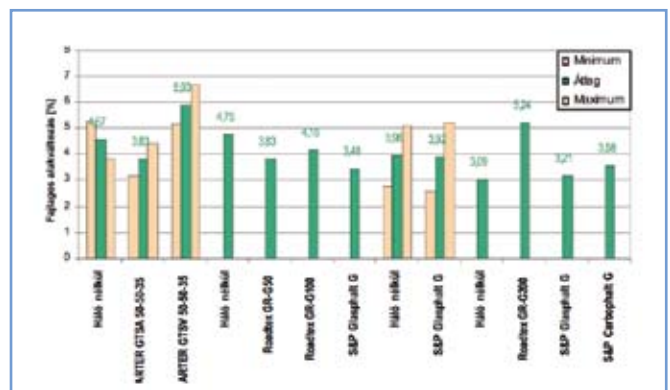
A fenti $+10\text{ °C}$ -os vizsgálatokon kívül kísérletképpen $+20\text{ °C}$ -on is fárasztottunk hálós (S&P Glasphalt G) és háló nélküli referencia próbatesteket. Az eredmények szerint a magasabb hőmérsékleten egyértelmű az aszfaltháló élettartam-növelő hatása.

KERÉKNYOMKÉPZŐDÉS

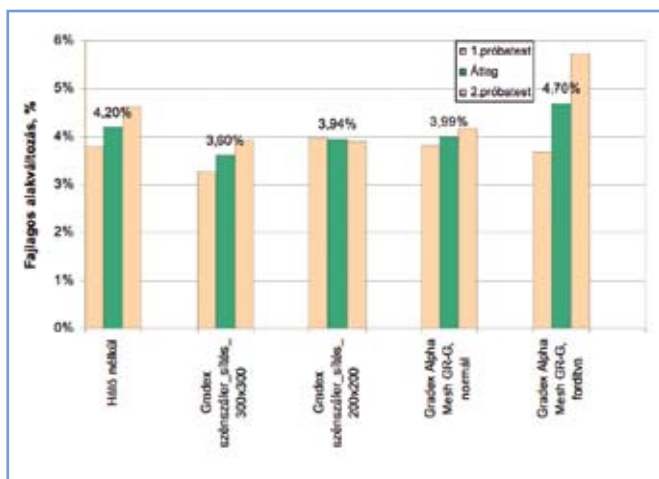
A vizsgálatot több vizsgálati körben (csoportban) végeztük el, ennek megfelelően ismét elmondható, hogy az összehasonlítás csak az azonos vizsgálati csoportba tartozó, vagyis azonos aszfaltanyagokból készült próbatesteken lehetséges.

Az első két vizsgálati csoportban a próbatetek készítése során két AB-12 réteg közé helyeztük el a hálót. A harmadik vizsgálati csoportban – annak vizsgálata céljából, hogy hogyan viselkedik a háló, ha a felső, illetve ha az alsó réteg merevsége nagyobb, mint a másik rétegé – mAB-12/F, illetve AB-11 keveréket használtunk, egyik esetben a merevebb réteg volt felül, másik esetben a kisebb merevségű réteg volt felül, közöttük a különböző típusú aszfaltrácsokkal.

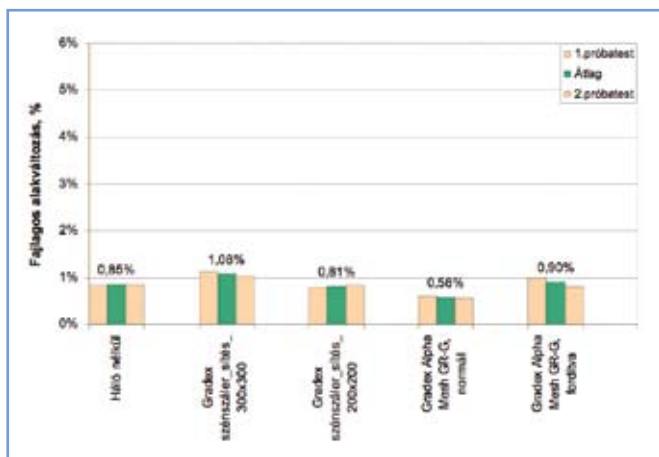
Az eredmények az 1–2. vizsgálati csoportra a 16. ábrán, a 3. vizsgálati csoportra a 17.–18. ábrán láthatók. A 3. vizsgálati cso-



16. ábra: A keréknyom-képződési vizsgálat értékei az 1. és 2. vizsgálati csoportba tartozó rácsokra vonatkozóan (halványan az egyedi értékek, ha vannak)



17. ábra: A keréknyom-képződési vizsgálat értékei az 3. vizsgálati csoportba tartozó rácsokra vonatkozóan (AB-12/F alsó réteg és AB-11 felső réteg)



18. ábra: A keréknyom-képződési vizsgálat értékei az 3. vizsgálati csoportba tartozó rácsokra vonatkozóan AB-11 alsó réteg és AB-12/F felső réteg)

portban azért választottuk külön a mérési eredményeket, mert az egyik esetben a felső réteg egy merevebb, mAB-12/F réteg volt, a másik esetben pedig kisebb merevségű, AB-11 réteg. Tekintettel arra, hogy a keréknyomképződés vizsgálata a felső aszfaltréteget veszi a legjobban igénybe, így a felső aszfaltréteg tulajdonságai befolyásolják az eredményt, jobban mint a két aszfaltréteg közé beépített háló.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a 60 °C hőmérsékleten a szövet hordozóanyagú háló ismét elválasztó hatású, sőt annak felületén a felső aszfaltréteg elcsúszik. A hordozóanyag nélküli aszfaltrács viselkedése tehát kedvezőbb, mint a háló nélküli építés. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy az eltérés közel van a vizsgálat ismétlési tartományához, sőt tapasztalatunk szerint az ilyen próbatestek eredményeinek szórása valamivel magasabb. Ennek bemutatására az átlagot bemutató oszlopok mellett ábrázoljuk a két mérés egyedi eredményét is. Látható, hogy a rosszabb aszfaltrácsos próbatest eredménye nagyon közel van a háló nélküli változat jobbik próbatest eredményéhez.

A 2. vizsgálati csoport nagyobb húzószilárdságú hálóját a második aszfaltkeverékkel vizsgáltuk. Amint az ábrából látható, a két S&P háló az első aszfaltkeverékkel kapott eredményhez hasonló értéket mutat. Ennél a sorozatnál a háló nélküli és a kétféle S&P há-

lójával kapott eredmények a vizsgálat hiba tartományán belül vannak. Kiugró azonban a Roadtex GR-G200 háló $e = 5,24\%$ értéke, amit azzal magyarázni, hogy a nagyobb mennyiségű üvegszálon könnyebben „elcsúszik” a felső aszfaltréteg. Bizonyára részben igaz ez a feltevés is, azonban valószínű, hogy itt is próbatest-készítési problémával állunk szemben. Sajnos ezt a sorozatot idő hiányában csak egy-egy próbatesttel vizsgáltuk, így a mérési hiba kiszűrésére nem volt esély.

ASZFALTHÁLÓK SZÉLES SÁVÚ SZAKÍTÓVIZSGÁLATA

Tanszékünk az aszfaltrácsok vizsgálatának 3. vizsgálati csoportjába tartozó rácsok közül három mintán végeztette el az MSZ EN ISO 10319:1998 szabvány szerinti széles sávú szakítóvizsgálatát, két irányban (gyártásirány és arra merőleges irány). A vizsgálatokat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépezetmérnöki Kar, Polimer Tanszék végezte.

A VIZSGÁLATI MINTÁK

A mintákat a szabványban leírt módon 200 mm széles csíkokra vágva, azokban egyenlő számú erősítőszálakat hagyva bocsátottuk a Polimer Tanszék rendelkezésére.

1. A „2” jelű vizsgált rács PP vliés hordozóra ragasztott, üvegekábel és bazaltkábel (üvegrovíng és bazaltrovíng) erősítésű szerkezet. Lánc- és vetülék irányban egyaránt 10-10 kábelt tartalmaz mintánként.
2. A „3” jelű vizsgált rács PP vliés hordozóra ragasztott, üvegekábel (üvegrovíng) erősítésű szerkezet. Lánc- és vetülék irányban egyaránt 10-10 kábelt tartalmaz mintánként.
3. A „4” jelű vizsgált rács PET fólia hordozóra ragasztott, üvegekábel (üvegrovíng bitumennel átítatva) erősítésű szerkezet. Lánc- és vetülék irányban egyaránt 10-10 kábelt tartalmaz mintánként.

A SZABVÁNYOS SZÉLES SÁVÚ SZAKÍTÓVIZSGÁLATOK ELVÉGZÉSE, A MÉRÉSI SOROZATOK EREDMÉNYEI

Az előkészített próbatesteket Zwick Z020 típusú, számítógép vezérlésű, elektronikus szakítógéppel 100 mm-es befogási hossz és 20 mm/min szakítási sebesség alkalmazásával elszakítottuk. A vizsgálat során a berendezés automatikusan regisztrálta az erő-nyúlás diagramot.

A vizsgálat közbeni tönkremenetelt a 19.– 20. ábra szemlélteti. Irányonként 7-7 vizsgálat (a „4” jelűből 4-4 vizsgálat) került elvégzésre, melyek eredményeit a 2. táblázatban foglaltuk össze.

TRIAXIÁLIS VIZSGÁLAT

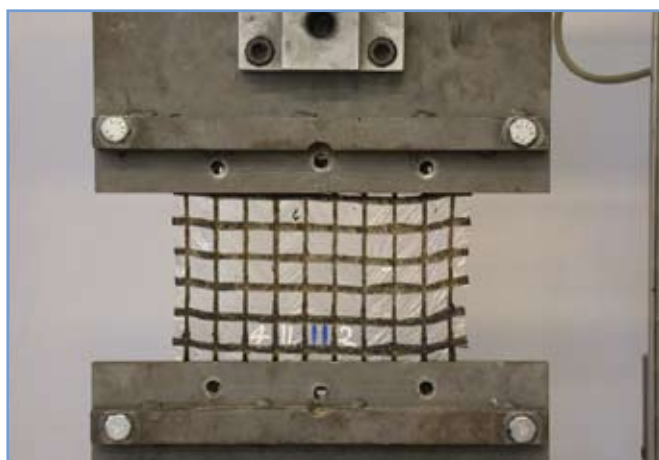
A munka során a különböző típusú aszfalterősítő hálók szerepét, hatékonyságát vizsgáltuk. A vizsgálatok során arra voltunk kíváncsiak, hogy a különböző igénybevételeknek kitéve milyen reakciók jelentkeztek az aszfaltszerkezetben, illetve, hogy az egyes terhelések esetén valóban jelentkezik-e a beépített hálók feltételezett aszfalterősítő szerepe.

Számos vita folyik a befogatlan próbatestű vizsgálatok – mint például a kúszásvizsgálat – hasznosságáról, hiszen az útburkolatban az anyagot az őt körülvevő anyag oldalról megtámasztja. Bizonyos keverékeknél a befogatlan próbatesteken végzett vizsgálat sokkal rosszabb eredményeket mutat, mint ugyanannak az anyagnak az útban mutatott teljesítménye. Erre megoldást a háromtengelyű (trixiális) vizsgálat alkalmazása jelenthet. A triaxiális vizsgálatot a 3. vizsgálati csoportba tartozó mindegyik hálójával készített próbatesten, illetve a referencia (háló nélküli) próbatesten is elvégeztük.

2. táblázat: Az egyes minták tönkremeneteléhez tartozó mért értékek

Írány	Szakítószilárdság, kN/m			Maximális erőhöz tartozó nyúlás, %		
	átlag	max.	min.	átlag	max.	min.
2 II	44,2	52,1	36,4	5,9	7,3	4,4
2 L	39,8	44,3	36,0	5,3	5,5	4,9
3 II	29,8	33,6	26,6	4,2	5,0	3,7
3 L	35,0	39,3	25,9	4,4	5,2	4,1
4 II	16,2	19,2	9,9	5,8	7,6	4,2
4 L	23,2	23,9	22,6	3,7	4,6	3,3

II – gyártásirány, L – gyártásra merőleges



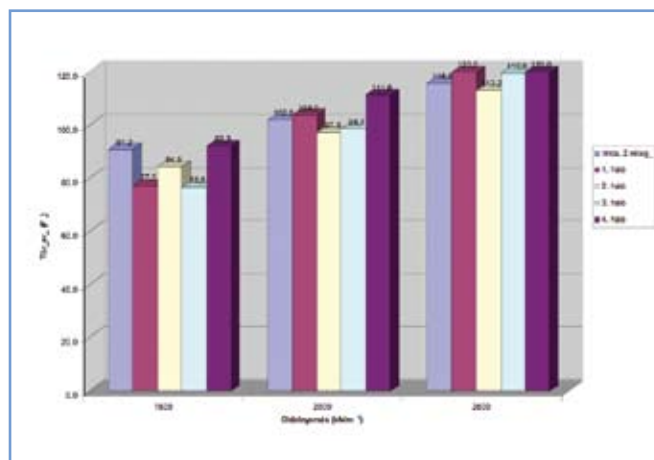
19. ábra: A 4. sz. minta a befogás során



20. ábra: A 4. sz. minta tönkremenetele

Jelen vizsgálatsorozat egy kísérleti elemzés arra vonatkozólag, hogy a törési állapot elérését késlelteti-e az aszfaltháló beépítése, illetve elemezhető-e aszfalt próbatetest hagyományos triaxiális vizsgálattal. Azaz tekinthető-e az aszfalt olyan kohézióval rendelkező, szemcsés anyagnak, mely a talajokhoz hasonlóan követi a Mohr–Coulomb modellt.

Ennek megfelelően az egyes hálókat tartalmazó próbatesteket három eltérő oldalnyomás mellett vizsgáltuk. Az alkalmazott oldalnyomás értékei a berendezés jellege miatt (ti. kőzetek vizsgálatára fejlesztették ki) viszonylag magasak voltak (1500, 2000,



21. ábra: Törőerő értéke a háló típusa és az oldalnyomás függvényében

2500 kPa), ennél kisebb oldalirányú feszültséget a rendszer nem volt képes állandó értéken tartani. A vizsgálat során a próbatestre egy gumimembránt húztunk, hogy az oldalnyomást biztosító olaj ne juthasson be a próbatest hézagaiba. A vizsgálatokat szobahőmérsékleten (22 °C) tudtuk csak elvégezni, mivel a berendezés a próbatestek temperálására jelenleg még nem képes.

Az egyes mintákon végzett kísérlet eredményeit a 3. táblázat tartalmazza. A táblázatban feltüntettük a próbatestek részletes adatait, az alkalmazott oldalnyomás értékét, a töréshez tartozó nyomófeszültséget, valamint a felrajzolható Mohr-kör érintőjének meredekségét jelentő belső súrlódási szög (f) értékét. A 21. ábrán ábráztuk az egyes hálótípusokhoz és oldalnyomásokhoz tartozó törőerő értékeit.

A diagramban nem jelöltük azt a próbatestet, mely homogén mintaként készült és nem építettünk be hálót. Ebben az esetben 1500 kN/m²-es oldalnyomásnál 106,6 kN, 2500 kN/m²-es oldalnyomásnál pedig 151,4 kN törőerőt kaptunk.

Az eredmények értékeléséhez néhány jellemző fényképet mutatunk, melyeket a vizsgálat előtt és a vizsgálat után készítettünk (22.–23. ábra). A fényképek nagy mértékben segítik az eredmények értékelését.

Az első két képen jól látszik a két ütemben történő gyártás során elkészült próbatest, a középtájon beépített hálóval. A második kép a vizsgálat után készült. A nagymértékű nyomás hatására a próbatestek jól láthatóan „kihasasodtak”, az oldalirányú alakváltozás a réteghatár mentén volt a legnagyobb. Gyakorlatilag az összes próbatest így ment tönkre, csupán a homogén próbatest



22. ábra: Próbatetek vizsgálat előtt (2. háló)



23. ábra: „Kihasasodott” próbatetek vizsgálat után

tönkremenetele volt kissé más: a próbatetest teljes magasságban szabályos hordó alakban deformálódott.

A háló beépítésével készült próbatetek esetén a táblázatból és a diagramból is jól látszik, hogy az oldalnyomás növekedésével mindegyik esetben növekszik a töréshez szükséges erő nagysága. Ez természetesen egybeesett a várakozásunkkal.

Érdekes módon alacsonyabb oldalnyomás esetén nagyobb eltérések mutatkoznak az egyes hálókval készített (illetve a háló nélküli) próbatetek eredményei között, azaz a szórás nagyobbra adódott. Magasabb oldalnyomás mellett az eredmények szórása némileg kisebb.

Az eredmények alapján azt mondhatjuk, hogy a 2. típusú háló alacsonyabb oldalnyomás esetén kedvezőbb viselkedést mutat az 1. és 3. háléhoz viszonyítva, ám az oldalnyomás növelésével ez az arány megfordul, és a másik két hálóból készített próbatest viselkedik kedvezőbben. Érdekes módon a 4. típusú háló volt képes mindhárom oldalnyomás esetében a legnagyobb törőerőt felvenni (és így a legnagyobb nyomófeszültséget elviselni). Azt mondhatjuk tehát, hogy a nem szövethordozós, fóliával bevont üvegszálal hálóból készített próbatetek kissé jobb eredményeket mutattak, mint a szövethordozós, szénszálal hálókval készített.

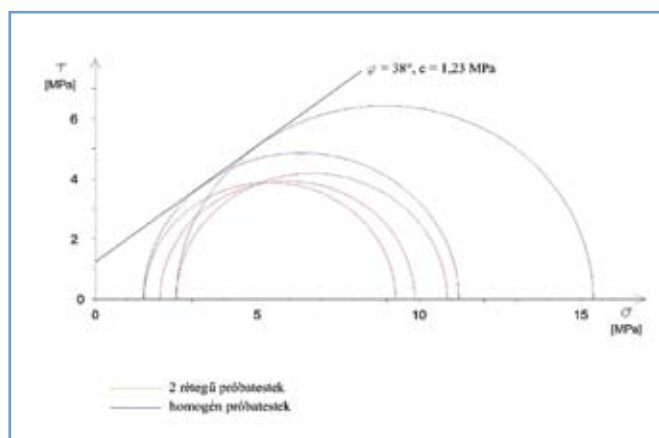
A háló nélküli próbatetek a hálós próbatetekhez képest nagyjából azonos, illetve viszonylag kedvezőbb viselkedést mutattak. Igen lényeges és fontos eredmény, hogy a teljesen homogén, ré-

3. táblázat: Vizsgálati eredmények

Próbatest jele	Fájlnev	Háló típusa	Mintamagasság	Törőerő F_t	Oldalnyomás s_3	Nyomófeszültség s_1	Belső súrlódási szög f
			h				
			mm	kN	kN/m ²	kN/m ²	fok
01	UVT01	nincs, 2 rétegű	129,1	91,2	1500	9 271,94	46,2
02	UVT02	nincs, 2 rétegű	129,3	102,0	2000	9 867,04	41,5
02	UVT02	nincs, 2 rétegű	129,3	104,0	2500	9 341,69	35,3
03	UVT03	nincs, 2 rétegű	129,8	116,0	2500	10 869,58	38,8
XX	UVTXX	nincs	117,0	106,6	1500	11 232,73	49,9
XX	UVTXX	nincs	117,0	151,4	2500	15 376,85	46,1
11	UVT11	1. háló	131,0	77,5	1500	7 527,61	41,9
12	UVT12	1. háló	130,0	104,0	2000	10 121,69	42,1
13	UVT13	1. háló	130,0	120,0	2500	11 378,87	39,8
21	UVT21	2. háló	131,0	84,5	1500	8 418,87	44,2
22	UVT22	2. háló	132,0	97,3	2000	9 268,62	40,2
23	UVT23	2. háló	132,0	113,2	2500	10 513,07	38,0
31	UVT31	3. háló	134,0	76,8	1500	7 438,48	41,6
32	UVT32	3. háló	134,0	98,7	2000	9 446,87	40,6
33	UVT33	3. háló	133,0	119,8	2500	11 353,41	39,7
41	UVT41	4. háló	131,0	92,3	1500	9 412,00	46,5
42	UVT42	4. háló	132,0	111,6	2000	11 089,35	44,0
43	UVT43	4. háló	131,0	120,0	2500	11 378,87	39,8

4. táblázat: Mohr–Coulomb-egyenesek paramétereit az egyes hálótípusok esetén

Háló típusa	Belső súrlódási szög, f , fok	Kohézió, c , kPa
1. háló	42	12
2. háló	25	1361
3. háló	36	396
4. háló	33	1196



24. ábra: Háló nélküli próbatestek Mohr-körei

teghatártól mentes minta 1500 és 2500 kPa-os oldalnyomás esetén mintegy 15–30%-kal kedvezőbb eredményt mutatott, mint a réteghatárral, két rétegben készített minta.

A két rétegben beépített, háló nélküli minták eredményei általában a hálós próbatestek eredményei körül alakultak, azaz nem tértek el jelentős mértékben attól. Érdekes módon a legkisebb oldalnyomás esetében (1500 kPa) a kétrétegű, háló nélküli próbatest eredménye majdnem a legjobbra adódott, csupán a 4. háló mintája ért el hasonló értéket.

A fentiek alapján azt mondhatjuk, hogy a homogén próbatestek kedvezőbb viselkedését egyértelműen az okozza, hogy nincsen bennük réteghatár, azaz a minta teljes magasságában homogén, és a tömörsége is viszonylag állandó. A réteghatár egyértelműen rontja a próbatestek viselkedését: ez igaz háló nélküli és hálós próbatestekre is.

Amennyiben elfogadjuk, hogy az aszfaltanyagra is alkalmazható a Mohr–Coulomb-elmélet, akkor a belső súrlódási szög értékére átlagosan 42° adódik. Ekkor a kohézió értékét nullának feltételezzük és az egyes Mohr-körökhöz az origóból húzható törési egyenesek meredekségét adjuk meg.

A vizsgálatsorozat során a legnagyobb f értékre 49,9° adódott (homogén, háló nélküli próbatest, 2500 kPa oldalnyomás), míg a legkisebb belső súrlódási szöget 38°-nak számítottuk (2. típusú háló, 2500 kPa oldalnyomás). Az értékek szórása 3,3°-nak számítható.

Amennyiben Mohr–Coulomb törési egyenest kívánunk rajzolni, a kapott eredmények ezt csak korlátozottan teszik lehetővé. Az oldalnyomások viszonylag kis eltérései miatt a három körhöz meglehetősen nehéz megfelelő érintőt berajzolni.

Az egyes hálótípusokhoz berajzolt burkoló egyenesek paramétereit közelítőleg azonban kiszámítottuk és a 4. táblázatban közöljük. Két esetben a három körhöz igen jól illeszkedő egyenest lehetett berajzolni, ám a másik két esetben csupán két körhöz tudtuk az érintőt pontosan berajzolni, a harmadik kör jelentősen eltérően helyezkedett el.

A táblázatos értékek azt mutatják, hogy a három törési Mohr-körre rajzolt törési egyenes meredeksége általában kisebb, mint az egyedi körökhöz megrajzolható egyenesek meredeksége, ami azt mutatja, hogy az aszfaltok esetében kisebb-nagyobb kohézióval is számolni kell.

Érdekes módon az 1. hálós próbatestek meredeksége megegyezik az egyedi körökhöz húzható egyenesek átlagos meredekségével és a kohézió értéke is gyakorlatilag nullára adódik. Egy esethez azonban megrajzoltuk a törési egyenest. Ez az eset a homogén, háló nélküli próbatesté, melynek két eredményét felhasználva rajzoltuk meg az érintő egyenest (24. ábra).

Az ábrán a tényleges burkolóegyenes látható, melynek meredeksége 38°, kohéziója pedig 1230 kPa-ra adódott. Ezen az ábrán is jól látható, hogy a réteghatár jelentősen lerontja a próbatestek szilárdsági jellemzőit, illetve végső soron a teherbírását.

A hálós és háló nélküli próbatestek eredményeinek összehasonlítása után az alábbi megjegyzéseket tehetjük:

1. A hálós beépítése érzékelhetően rontja a minták teherbírását. A szükséges réteghatár kialakítása nagy mértékű gyengülést okoz a minták réteghatár körüli szerkezetében és így a teljes teherbírásában.
2. A teljesen homogén minták vizsgálata 15–30%-kal kedvezőbb eredményt adott, mint a többi minta (beleértve a kétrétegben beépített, háló nélküli próbatesteket is). Jól érzékelhető, hogy nem a háló típusa az igazán döntő, hanem a réteghatár és az annak környezetében meglévő szerkezeti állapot. Ez az állapot azonban két réteg esetén igen „zavart”, a nem megfelelő együttműködés miatt a minták könnyebben tönkremennek, károsodnak.
3. A kétrétegben történő zsiratoros próbatestkészítés láthatóan gyengíti az aszfalt szerkezetét, miután a réteghatár környékén az aszfaltok tömörsége nem megfelelőnek értékelhető. Ez jól látható volt a tönkrement mintákon, melyek szinte mindegyike a felső réteg alján illetve az alsó réteg tetején „hasasodott ki”, azaz ment tönkre (lásd a fényképeket).
4. Nagy biztonsággal kijelenthető tehát, hogy a homogén, réteghatármentes minták sokkal kedvezőbb viselkedést mutatnak, mint a két rétegből készített minták. Ez teljes mértékben független a beépített háló típusától.

5. A hálók egymással való összehasonlítása meglehetősen nehézkes, mert az eredmények nem mutatják meg egyértelműen az egyes hálók kedvező vagy nem kedvező tulajdonságait. Csupán a 4. háló eredményeit tekinthetjük egy kissé kedvezőbbnek a többi hálóhoz képest, bár ez az eltérés a mérések alacsony számából is adódhatott, azaz nem feltétlenül jutnánk hasonló eredményre egy újabb kísérletsorozat elvégzése után.
6. A triaxiális vizsgálat eredményeképpen kapott belső súrlódási szög és kohézió értékeit kellő fenntartással kell kezelni, mivel az aszfaltkeverékek viselkedésének vizsgálata során a Mohr-Coulomb törési elméletet alkalmaztuk. A kapott 38–42°-os belső súrlódási szög és nulla körüli kohézió durvaszemcsés homokos kavics, kavics rétegre jellemző értékek. További elméleti és gyakorlati vizsgálatokra lenne szükség ahhoz, hogy a kapott eredmények pontos értékelését el lehessen végezni.

Az eredmények értékelése alapján megállapítható, hogy hasznos lenne nem csak szobahőmérsékleten, hanem magasabb hőmérsékleti tartományban (pl. 60 °C) is megvizsgálni ugyan ezen hálók viselkedését. Magyarországon azonban jelenleg ilyen berendezés nem üzemel. Háló nélküli aszfalt próbatetek triaxiális vizsgálatát már végeztek magasabb hőmérsékleteken a Drezdai Műszaki Egyetemen, ám jelentősen kisebb oldalnyomások mellett.

Végeselemes program alkalmazásával egy elméleti modell kialakítása javasolható a problémák mélyebb feltárására.

Fontosnak tarjuk, hogy már az útpályába beépített hálón is elvégezzük a vizsgálatokat, ezért javasolt útpályából kifúrt mintákon újra elvégezni a fenti kutatási programot (a Soroksári úton, 2006 őszén több fajta hálót építettek be kísérleti jelleggel, ezért ennek vizsgálata kézenfekvő megoldás lenne).

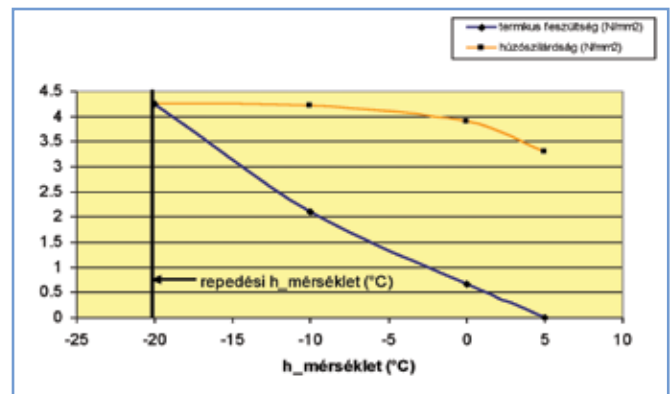
REPEDÉSI HŐMÉRSÉKLET VIZSGÁLATA

A Nemzeti Autópálya Rt. által MF 3/2004 számon kiadott Műszaki Szállítási Feltételek a nagymodulusú aszfaltkeverékekből készült hasáb alakú próbatetek adott hőmérséklet-változás mellett történő szakadásához tartozó hőmérséklet meghatározására írt elő vizsgálati módszert. Az aszfalt repedési hőmérséklete (ARH) az aszfaltkeverék hőmérséklet-változás következtében beálló repedési érzékenységre, az úgynevezett hidegviselkedési tulajdonságaira nyújt összegző információt.

A hivatkozott műszaki előírás ugyan a nagymodulusú keverékek vizsgálatként írja elő az aszfalt repedési hőmérsékletének meghatározását, azonban mivel a vizsgálat során a vizsgálati körülmények rögzítettek, valamint a referencia próbatetek, illetve a hálóval erősített próbatetek tönkremeneteli állapotát vizsgáltuk azonos keverék felhasználásával, az adott vizsgálat a különböző módon előállított próbatetek összehasonlítására ad relatív mérőszámot.

A vizsgálat során hasáb alakú próbateteket állítottunk elő. A hasáb alakú próbateteket vibrációs tömörítéssel, 100%-os tömörségre tömörítettük be, majd ezekből a tömörített lapokból kerültek kialakításra a minden oldalán vágott felülettel rendelkező próbatetek. A próbatetek mérete 50×50×250 mm, a műszaki előírásnak megfelelő mérettűrésekkel.

Az ilyen módon előállított próbatestet két véglapjára felragasztott acél húzófejekhez rögzíthető a feszítőmű, mely erőméréssel szabályozott. A próbatest hosszirányú alakváltozását mérő út-



25. ábra: A repedési hőmérséklet értelmezése

adók révén a próbatest bázishossza a meghatározott kezdeti hőmérsékleten rögzíthető. A próbatestet körülvevő szigetelt klímateremben a próbatestre rögzített elektronikus hőmérők által vezérelve a hűtőberendezés a meghatározott gradiensnek megfelelő sebességgel hűti a próbatestet. A próbatest elszakad, amennyiben benne a gátolt alakváltozás miatt, a hőmérséklet hatására felépülő feszültség eléri az adott hőmérsékleten lévő húzószilárdságot (25. ábra). Ezt a hőmérsékletet tekintjük repedési hőmérsékletnek.

A vizsgálat során a próbateteket 10 ± 0,6 °C hűtési sebességgel kell hűteni, a vizsgálat a +5 ± 0,5 °C hőmérsékleten kezdődik. A próbatest hosszúságának változását a vizsgálat kezdetétől (+5 ± 0,5 °C) indulva meg kell akadályozni, melyet a feszítőmű végez.

A vizsgálat során kimértük, hogy az aszfalterősítő hálók milyen módon befolyásolják az aszfaltkeverék repedési hőmérsékletét.

Az ARH vizsgálatban mAB-12/F keveréket alkalmaztunk. Az összehasonlíthatóság miatt referencia próbateteket készítettünk aszfalterősítő háló nélkül, melyeket szövet alapú üvegszálás, és hordozó nélküli rács aszfalterősítő hálókkal készített próbatetek vizsgálati eredményeivel hasonlítottuk össze. A próbateteket minden esetben két rétegből állítottuk össze. A referencia próbatetek előállításánál 4 cm aszfaltlap vibrációs tömörítése után bitumenemulziót hordtunk föl a rétegre. Az így elkészült lapot 8 cm magas sablonba átszereltük, majd a forró keveréket a meglévő lapra tömörítettük rá.

Ugyanígy módon állítottunk elő a két típusú hálóhoz készített próbateteket is, tehát a bitumenemulzió felhordása után az aszfalterősítő rácsokat a 2. réteg vibrálása előtt helyeztük az alsó próbatestre.

Az aszfalterősítő hálók hatékonyságát más módon előállított próbatetekeken is megmértük. A próbateteket ebben az esetben olyan módon állítottuk elő, hogy az alsó lap keverékét a 8 cm-es sablonba a beépítési hőmérsékletnek megfelelő hőfokon beöntöttük, majd spatulyával elegyengettük. Az így elegyengetett felületre helyeztük az aszfalterősítő hálót (bitumenemulzió nélkül), majd a 2. réteg keverékét erre ráöntve a három réteget (4 cm aszfalt, aszfalterősítő háló, 4 cm aszfalt) együtt tömörítettük. A próbatetekhez szükséges aszfaltmennyiséget úgy mértük ki, hogy a próbatetek tömörsége 100% legyen.

A 8 cm magas próbapadok mindegyikéből három hasábot lehetett kivágni. A hasábok szélessége a műszaki előírásnak megfelelően került kialakításra, a megfelelő magasságra történő

vágás során pedig a két lap által képezett réteghatárral párhuzamosan vágunk le a próbatetek 8 cm-es magasságából 1,5-1,5 cm-t, olyan módon, hogy a réteghatár (aszfalterősítő hálóval, illetve a nélküli) vízszintes értelemben a szimmetriatengelyt képezze.

A H12 GBX 3B (textília hordozóra erősített üvegszálalás háló, 1×8 cm vastagságban bevibrálva) sorozat vizsgálati eredményei nagyon jó értékeket mutatnak, de két próbatest is a ragasztás mentén ment tönkre a vizsgálatuk során.

A H12 GBX 4A és 4B (textília hordozó nélküli, bitumennel bevont üvegszál) eredményei nem mutatták a várt nagyon jó eredményt (az eredmények a referencia próbatesthez hasonlítanak), azonban a rácsok rögzítése nem hőlégfúvós ráolvasztással történt, a háló a bitumenemulzió felhordásával került leragasztásra. Mint ahogyan a gerendafárasztási vizsgálatok esetében is láttuk, a hőlégfúvással történő ragasztás jelentősen megváltoztatta a vizsgálati eredményeket.

3. ASZFALTHÁLÓK HATÁSA AZ ASZFALT FÁRADÁSI VISELKEDÉSÉRE VÉGESELEMES ANYAGMODELL FELÉPÍTÉSÉVEL

Az Út és Vasútépítési Tanszék megbízásából a Hidak és Szerkezetek Tanszéke elvégezte az aszfalthálóval erősített aszfalt fáradási viselkedésének végeeselemes modell alapján történő meghatározását. Ezen cél elérése érdekében először kifejlesztettük az aszfalt fáradásra képes végeeselemes anyagmodelljét az Ansys általános célú végeeselemes programban. Az alkalmazott aszfalt anyagmodell és számítási eljárás paramétereinek megválasztását aszfaltfárasztási kísérletek alapján vettünk fel úgy, hogy a kísérlet során mért fáradási ismétlésszámot kapjuk.

Az így létrehozott aszfalt anyagmodell egy aszfalthálóval erősített aszfalt próbatest numerikus modelljébe építettük be, majd elvégeztünk a numerikus fáradásvizsgálatot. Az eredmények alapján meghatároztuk a háló hatását az aszfalt fáradási viselkedésére.

A fárasztóvizsgálatokat az Út és Vasútépítési Tanszék az MSZ EN 12 697-24:2005 szabvány alapján végezte el. Hasáb alakú próbatesteken négyponthoz hajlítóvizsgálatokat hajtottak végre.

A minta két végénél található támaszok függőleges irányban megtámasztottak voltak, míg a közbelső támaszokra 10 Hz-es szinuszos elmozdulásvezérelt kétirányú függőleges terhelést adtak. A támaszok a próbatestnek szabad elmozdulást biztosítottak a próbatesttel párhuzamosan vízszintes irányban illetve szabad elfordulást a vízszintes keresztirányú tengely körül.

Egy keverésből három próbatestet alakítottak ki, így biztosítva a három próbatest anyagi azonosságát, melyeket három terhelési szintnek vetették alá: 130, 160, 220 microstrain, amit a közbelső támaszok között a szélső szálakban mértek. A próbatesteket három aszfaltrétegből ragasztották össze hálós illetve háló nélküli esetben is, szintén a hasonlóság biztosítása céljából.

A mérés során a középső pont függőleges elmozdulását illetve a mozgásvezérelt támaszokban ébredő reakcióerőt mérték. Ezen információk felhasználásával kiszámították a szélső szálban ébredő feszültséget, illetve alakváltozást, továbbá ez utóbbiakból a terhelés ráadásától a deformált alak felvételéig eltelt fáziskésésből meghatározták a komplex merevségi moduluszt.

A századik lépésben a mérésekből számított komplex merevségi moduluszt vették a próbatest kezdeti merevségének. A vizsgálatot addig folytatták, míg a próbatest fáradása során a komplex me-

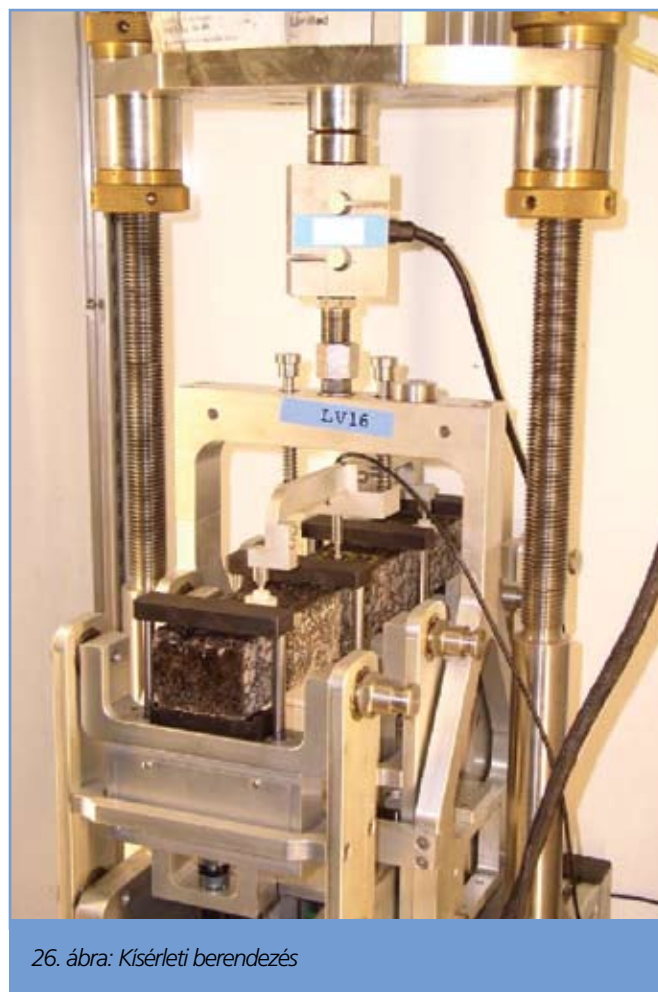
revségi modulus kisebb lett a kezdeti érték felénél, azaz elérték a tönkremenetel kritériumot. Majd az alakváltozást a tönkremenetelhez tartozó ismétlésszám függvényében egy diagramon ábrázolták a minta típusa szerint, azaz az aszfaltháló típusa szerint közelítő görbékét fektettek, így meghatározhatóvá vált a 10^6 ismétlésszámhoz tartozó megengedhető alakváltozás. Ezen információk ismeretében összehasonlíthatóvá váltak az egyes hálóval erősített aszfaltok.

Az aszfalthálóval erősített aszfalt fárasztókísérletét az Aszfalthálók széles sávú szakítóvizsgálatánál leírtak szerint végezték, azzal a különbséggel, hogy az aszfaltrétegek közé különböző erősítőhálókat ragasztottak, úgymint:

- „2. jelű” PP vlies hordozóra ragasztott, üvegekábel és bazaltkábel (üvegrovíng és bazaltrovíng) erősítésű szerkezet. Lánc- és vetülék irányban egyaránt 5-5 kábelt tartalmaz 100 mm-enként.
- „3. jelű” PP vlies hordozóra ragasztott, üvegekábel (üvegrovíng) erősítésű szerkezet. Lánc- és vetülék irányban egyaránt 5-5 kábelt tartalmaz 100 mm-enként.
- „4. jelű” PET fólia hordozóra ragasztott, üvegekábel (üvegrovíng bitumennel átitatva) erősítésű szerkezet. Lánc- és vetülék irányban egyaránt 5-5 kábelt tartalmaz 100 mm-enként.

A 3. és 4. jelű hálóval végzett fárasztási kísérletek álltak rendelkezésünkre, így a továbbiakban csak ezeket tárgyaljuk. A kísérlet során alkalmazott készülék és minta a 26. illetve a 27. ábrán látható.

A végeeselemes modellt a 28. ábrán bemutatott geometria és peremfeltételek alapján készítettük három dimenzióban az Ansys általános célú végeeselem programban. Az adott feladat modelle-



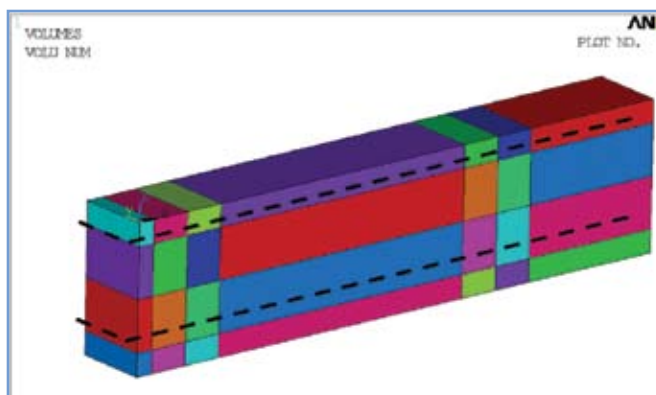
26. ábra: Kísérleti berendezés



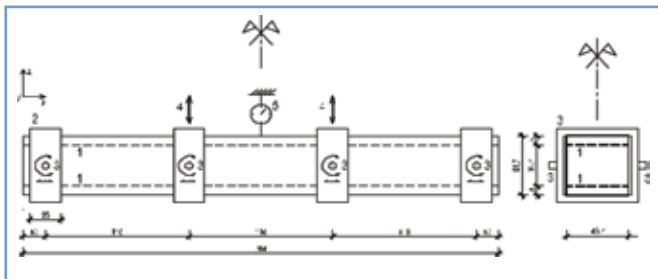
27. ábra: Próbatest



29. ábra: Test objektumok a végeleemes programban



30. ábra: Aszfalterősítő hálók helye



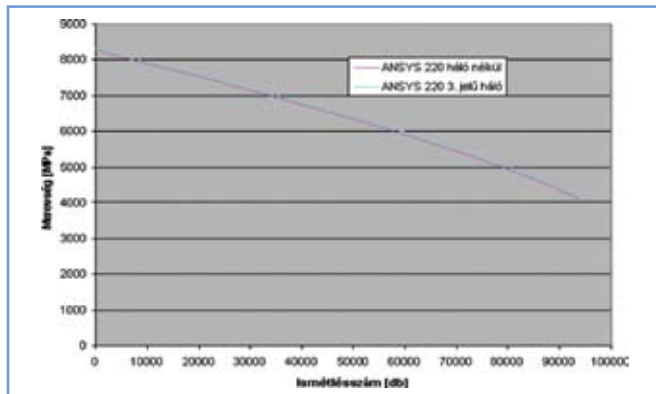
28. ábra: A kísérlet elve, geometria

(1: aszfaltháló, amennyiben az adott kísérletben szerepel, 2: kísérleti minta megtámasztását biztosító befogó pofák, 3: befogópofák megtámasztása: szabad elmozdulás x tengely mentén, szabad elfordulás y tengely körül, 4: függőleges (z tengellyel párhuzamos) terhelés, a támaszokban ébredő függőleges erő mérése, 5: a minta szimmetriatengelyeinek metszés egyenesén lévő felső pontja függőleges elmozdulásának mérése)

zésére az Ansys programnyelvén (APDL) általunk írt algoritmust használtuk. Az így írt programot egy makrófájlban foglaltuk össze, melyre a dokumentációban „makró”-ként hivatkozunk.

A programban testeket hoztunk létre a 29. ábrán látható módon, melyeket az aszfalthálók, a pofák és a minta középső vízszintes síkja határol. Továbbá kihasználtuk a 28. ábrán bejelölt szimmetriasíkokat, így a kísérleti minta negyedét modelleztük a gyorsabb futás érdekében.

A végeleemes modellben az aszfalt modellezéséhez a SOLID 185 test elemet alkalmaztuk, mely nyolc csomóponttal és minden csomópontban három szabadságfokkal rendelkezik (UX, UY, UZ). Továbbá alkalmas plasztikus, hiperelastikus viselkedés, kúszás modellezésére, nagy elmozdulásokat is képes kezelni. Az aszfalthálók modellezéséhez a



31. ábra: 220 microstrain terhelésű kísérlet összehasonlítás

SHELL 181 felületszerkezeti elemet alkalmaztuk, mely négy csomóponttal, minden csomópontban hat szabadságfokkal rendelkezik (UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ). Azért, hogy az elemek hajlítás felvételére ne legyenek képesek, a 30. ábrán szaggatott vonallal megjelölt síkokban membrán funkciót alkalmaztunk.

Rugalmassági modulusát a hálók szabvány szerint elvégzett széles sávú szakítóvizsgálatai eredményeiből számítottuk ki. A „3. jelű” háló rugalmassági modulusa 2324 N/mm², míg a „4. jelűé” 1000 N/mm²-re adódott úgy, hogy a háló vastagságát 0,5 mm-nek feltételeztünk. Így tehát a felületszerkezeti elem vastagságát 0,5 mm-re, míg a rugalmassági

modulust az előbb bemutatott értékekre állítottuk a további végeeselemes kísérleteink során.

Így összehasonlíthatjuk az általunk feltételezett aszfalt „anyagmodellel” modellezett háló nélküli illetve aszfalt erősítőhálós mintadarabot. Megkaphatjuk a tönkremenetelig megtett lépésszámok különbségét, illetve megfigyelhetjük az ismétlés–merevség-görbe jellegi eltéréseit.

Azért nem a fárasztógépben elkészített kísérleti eredményekkel vetjük össze, mert korábban már említettük, hogy a kísérletek eredményei közötti szórás nagyon nagy, így ez nem rendelkezne kellő információ tartalommal, így nem célravezető.

A 31. ábrán láthatjuk a 220 microstrain terhelésű kísérlet háló nélküli, illetve a 3. jelű hálós készített modell összehasonlítását. Jól láthatjuk az ábrán, hogy a háló alkalmazásával nem keletkezik lényeges különbség. A háló nélküli 94 ezer ismétlés után, míg a „3. jelű” hálós készített 95 ezer ismétlés után éri el a kezdeti szilárdságának felét. A hálós változat görbéje kissé a háló nélküli változat felett fut. Ez azért van, mert a háló beépítésével kismértékben megemelkedik a szerkezet középső keresztmetszetében a

vízszintes tengelyre felírt másodrendű nyomatók. Lényegesen nem emelkedik, mert a 0,5 mm vastag háló alakváltozása pontosan megegyezik 1,8 mm vastag aszfalt alakváltozásával azonos húzóerő mellett, azaz a háló rugalmassági modulusa a szélessávú szakítóvizsgálatok alapján nem elég nagy ahhoz, hogy a keresztmetszet merevségét lényegesen megnövelje. Hozzáteesszük, hogy modellünkben a valósággal ellentétben a háló alul felül mindig dolgozik. A „4. jelű” hálós el sem végeztük a számítást, mert biztosra vehető, hogy az eredménye lényegesen közelebb esne a háló nélküli esethez, mint a „3. jelű” hálós végzett kísérlet.

A 160 microstrain terhelésű háló nélküli illetve „3. jelű” hálós készített modell eredményei azonos jelleget mutattak a 220 microstrain terhelésű esethez képest. A háló nélküli modell 710 ezer lépés után, míg a hálós 719 ezer lépés után érte el a kezdeti merevség 50%-át.

A 130 microstrain terhelésű háló nélküli illetve a „3. jelű” hálós készített végeeselemes modellek eredményei szintén azonos jelleget mutattak a 220 microstrain terhelésű esethez képest. A háló nélküli modell 1 948 000 lépés után, míg a 3. jelű hálós készített 1 970 000 lépés után érte el a kezdeti merevség 50%-át.

5. táblázat: A hálók várható viselkedése és hatásai

Hatás	Szövet hordozóanyagú hálók	Rácsszerkezetű hálók, bitumenes bevonattal
Keréknyom képződés	Elválasztóréteggént vannak jelen a réteghatáron, az üvegszál rács a ráépített aszfalrétegbe nem ágyazódik be, ezért ezeket alkalmazva nem várható, hogy az alsó réteg deformációja esetén mértékadóan csökkenjen a nyomképződés. Ennek következtében ilyen célú alkalmazásnál a háló saját húzószilárdságának jelentősége kicsi.	Lehetővé teszik a felső és alsó aszfalréteg összetapasztását, a rács a felső aszfalréteg aljába beköt, ezért ezek alkalmazása, az alsó réteg deformációja során a rács a saját nyúlását meghaladó deformációk esetén, már csökkenti a felszínen megjelenő nyommélységet. A háló saját húzószilárdságának lehet jelentősége, de megítélésünk szerint ez a magas hőmérsékletű aszfalt mellett nem mértékadó.
Repedés áttükröződése	A hálók azon tulajdonsága, hogy elválasztóréteggént működnek, a repedésáttükröződés szempontjából előnnyel bír. Ezeket alkalmazva az alsó réteg hosszirányú mozgással jelentkező repedései miatt a felső rétegben csökkentett mértékű feszültség keletkezik, így azok nem tudják a felső réteget megrepeszteni. A felső réteg alján esetleg mégis keletkező repedés megnyílását pedig az üvegszál rács csökkenti. Így ilyen alkalmazási cél esetén a háló saját húzószilárdsága is jelentőséggel bír. A repedések mennyisége, megnyílása függvényében célszerű a magasabb húzószilárdsággal rendelkező hálót választani.	A felső és az alsó réteg együttdolgozása miatt az alsó réteg hosszirányú mozgása feszültséget kelt a felső rétegben, azt a hálórács nem csökkenti. A felső réteg hálós való együttdolgozása esetén a háló hatása akkor mértékadó, ha annak anyaga az aszfalttal azonos megnyúlás esetén nagyobb húzófeszültséget képes felvenni. Ezért a háló saját húzószilárdsága minden esetben jelentőséggel bír.
Függőleges elmozdulás, táblamozgás	Amennyiben a burkolatban lévő repedés olyan, hogy függőleges elmozdulás is lehetséges, abban az esetben a vizsgált hálók egyike sem használható kielégítő eredménnyel, mert ezek nyírófeszültség felvételére nem alkalmasak. Ilyen esetben a fémhálók alkalmazása javasolt.	
Hajlító igénybevétel, fáradási tulajdonságok	A hálók elválasztó hatása, a nyírófeszültség csökkentő hatása miatt a rétegek együttdolgozása csökken. Ezért ezeknek a hálóknek élettartam-javító hatása is kisebb, bár a nagyobb saját húzófeszültséggel rendelkező háló mutat ilyen hatást. Amennyiben ez a háló olyan helyen kerül alkalmazásra, ahol a rétegek együttdolgozása amúgy is alacsony szintű (pl. közvetlenül beton vagy CKt réteg felett), akkor várható, hogy a fáradási igénybevétellel szemben javul a pályaszerkezet viselkedése.	Ezek a hálók nem szüntetik meg az aszfalrétegek együttdolgozását, ennek megfelelően aszfalrétegek közé építve jelentkezik a fáradási élettartam javító hatásuk. Természetesen működésük akkor hatékony, ha a legnagyobb húzófeszültségek zónájában kerülnek alkalmazásra. Így felújítások – fáradási élettartam növelési igénye – esetén akkor javasolt az alkalmazásuk, ha a beépítési síktól lefelé lényegesen vékonyabb aszfalréteg marad, mint a háló fölé épített rétegvastagság.

4. A HÁLÓK VÁRHATÓ VISELKEDESÉNEK ÉS HATÁSÁNAK ÖSSZEFOGLALÁSA

A vizsgálatok során megállapíthatók az alábbiakat.

A *szövetbordozójú hálók*, mintegy elválasztó közbenső réteggént működnek. Ezt a feltételezést megerősítette az elcsúszásvizsgálat, a feltépésvizsgálat és kisebb részben a keréknyomképződés vizsgálata is (ez utóbbi esetben az eltérés a referencia próbatetekhez képest nagyon kicsi, kisebb, mint a mérési bizonytalanság).

A *hordozóanyag nélküli rácsok* esetén is csökken ugyan az együttműködés erőssége, amelyet az elcsúszás- és a feltépésvizsgálat is mutat, de ez a csökkenés sokkal kisebb mértékű – lévén a rács hézagaiban a két aszfaltréteg együttműködése létrejön, azt csak a kis felületű rácsvonalak törlik meg. A keréknyomképződési eredmények a referencia próbatetekhez képest a hibahatáron (és a mért értékek szórásán) belüli javulást mutatnak, így a rácsok keréknyomképződésre gyakorolt pozitív hatása nevezhető egyértelműnek.

A hálók hatásának legjellemzőbb eredményét a négyponos hajlító-fárasztó vizsgálattal kaptuk. Ennek alapján összefoglalóan megállapítható volt, hogy a saját húzószilárdsággal rendelkező hálónak van élettartam-növelő hatása is. A hordozóanyag nélküli háló pedig határozottan növeli az aszfaltréteg fáradással szemben mutatott ellenállását.

Az elvégzett vizsgálataink alapján megállapítható, hogy a burkolatfelújítások során alkalmazható hálók hatásának, viselkedésének ellenőrzésére, meghatározására alkalmasak az Útépítési Laboratóriumban alkalmazott aszfaltmechanikai vizsgálatok. A hatás mértékének megítéléséhez azonban szerencsésebb lenne tényleges beépítésből származó mintákat használni, mert a la-

boratóriumban készített próbatetek esetén a szomszédos rétegek és a háló megfelelő együttműködése nem biztosítható olyan megbízhatósággal, mint az aszfaltfiniszerrel és hengerrel történő beépítésnél. Ez viszont a vizsgálati eredmények bizonytalanságát is eredményezi. A vizsgálataink viszont összehasonlításra így is alkalmasak.

A numerikus fárasztóvizsgálatok végrehajtása után megállapítottuk, hogy a geotextíliának nincs jelentős hatása az aszfalt fáradási viselkedésére. Ez a hajlító-fárasztó vizsgálatok eredményeinek némiképp ugyan ellentmond, bár a kísérletek eredményei is csak kismértékű javulást mutattak ki a hálók alkalmazása során a háló nélküli próbatetek eseteihez képest.

A hálók várható viselkedését és hatásait az 5. táblázat foglalja össze.

SUMMARY

ROLE OF ASPHALT REINFORCEMENT GRIDS IN STRENGTHENED AND WIDENED ROAD PAVEMENTS

Asphalt reinforcement grids are usually used in widenings and in strengthened cross sections. We tried to analyse the behaviour of these grids in laboratory circumstances. On one hand we wanted to know whether the different stresses have any kind of effect on grids, and on the other hand whether the grids affect the pavement behaviour. Asphalt reinforcement grids are planned, and used for different functions. If we found during the research that the grid cannot fulfil its task we tried to define the necessary technological developments in order to reach the expected effect.

DINAMIKUS SÖTÉT ALAPÚ PORTÁL ELŐJELZŐ TÁBLÁK HATÉKONYSÁGA NAGY SEBESSÉGŰ JELZŐLÁMPÁS CSOMÓPONTOKBAN

EFFECTIVENESS OF BLANK-OUT OVERHEAD DYNAMIC ADVANCE WARNING SIGNALS AT HIGH-SPEED SIGNALIZED INTERSECTIONS

G. G. SCHULTZ, R. PETERSON, D. L. EGGETT, B. C. GILES

JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING VOL. 133., 2007. 10. P. 564–571. Á:8. T:1. H:15.

A nagy sebességű utakon előforduló jelzőlámpás csomópontok (ilyen található pl. a 4. sz. főút Üllőt elkerülő szakaszán – a fordító jelzéseké váltásokra. Ennek egyik lehetséges eszköze a csomópont előtt elhelyezett előjelző tábla. Az USA Utah államában egy új kialakítású előjelzőt vizsgáltak, melynek lényege, hogy egy portálon elhelyezett sötét alapú változó jelzéseképű táblán a piros jelzés megjelenése előtti másodpercekben felvillan egy figyelmeztető felirat („készül megállásra”). Az előjelzővel együtt egy korszerű értékelő rendszert is telepítettek, mely folyamatosan gyűjti a járművek sebesség adatait és a piros jelzésnél történő behaladás eseteit. Az adatokat az előjelző elhelyezése előtt és közvetlenül az elhelyezés után rögzítették. A sebesség adatok kumulált eloszlásainak elemzése azt mutatta, hogy jelentős (statisztikailag szignifikáns) változás történt a sebességekben az előjelző működésének eredményeként. A zöld

jelzéseké ideje alatt, amikor az előjelző inaktív, az átlagsebesség 8–16 km/órával növekedett, míg az előjelző piros jelzéseképre figyelmeztető működése alatt az átlagsebesség 8–16 km/órával csökkent. Az előjelző telepítése után a piros jelzésnél történő behaladás is mérséklődött, egymillió belépő járműre számítva az előjelző nélküli öt eset helyett csak egy ilyen esetet észleltek az egyik vizsgált irányban, ami szintén statisztikailag szignifikáns eredmény. A nagy sebességű utakon előforduló jelzőlámpás csomópontok biztonsági kockázatot jelentenek, mert piros jelzés esetén a járművezetőknek rövidebb idő alatt kell dönteniük a megállásról. A mért sebességprofilok szerint az előjelző működésekor a járművezetők felkészültebben közelítik meg a jelzőlámpát, és biztosabban megállnak a sárga jelzéseké észlelésekor.

G. A.

FÖLDMŰVIZSGÁLATI MÓDSZEREK MEGBÍZHATÓSÁGÁNAK ELEMZÉSE

ÉZSIÁS LÁSZLÓ¹

1. BEVEZETÉS

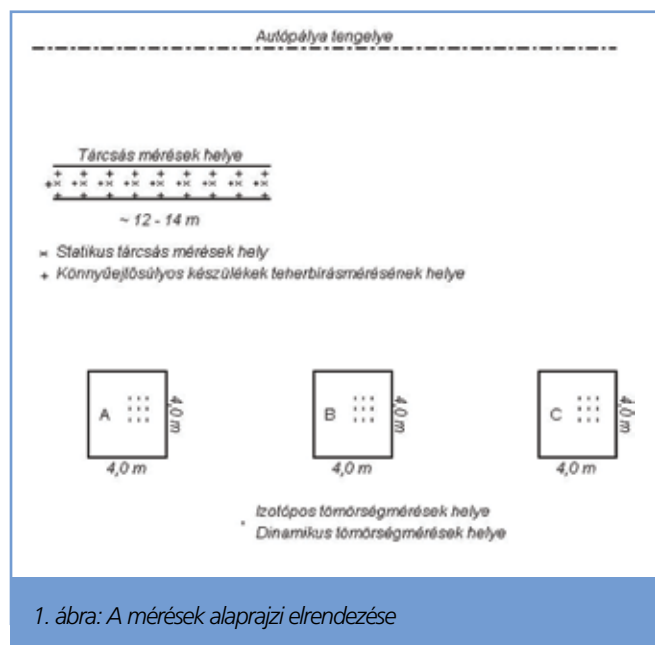
A földművek megfelelőségének igazolása két paraméter, nevezetesen a tömörségi fok és a teherbírási modulus meghatározásával történik. A paraméterek mérésére napjainkban több eljárás áll a szakma rendelkezésére. A különböző eljárások, a mérési módszerüket tekintve, kisebb-nagyobb mértékben eltérnek egymástól. Ez az anomália mind a mérések eszközeire, mind pedig a minősítő paraméterek meghatározásának elméletére igaz. A különböző, de azonos tulajdonságot minősítő eljárások közötti átjárhatóságot/átszámíthatóságot egyes szakmai körök meglehetősen fontosnak tartják. A különböző módszerek eredményeinek összevetésére – éppen ezért – több tanulmány született az elmúlt évek során, amelyek a levont következtetéseiket illetően nagymértékű különbözőséget mutattak. Sokan sokféle állásfoglalást tettek az átszámíthatóságot illetően, így az átszámíthatóságra jelenleg is több képlet áll a szakma rendelkezésére.

A különböző eljárások által mért eredmények terepi körülmények közötti felmérésére, valamint az alkalmazott eljárások megbízhatóságának az összevetésére az ÚTLAB Szövetség Műszaki Szabályozási Bizottságának közreműködésével 2008 tavaszán az épülő M6-os autópályán sor került egy összehasonlító vizsgálatsorozatra, melynek szervezését és lebonyolítását a Magyar Közút Kht. és a Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. vállalta magára. Jelen cikk a mérés körülményei mellett az értékelés módjáról és a kapott eredményekről is beszámol.

2. A VIZSGÁLATI PROGRAM BEMUTATÁSA

2.1. AZ ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATOKBA BEVONT ELJÁRÁSOK KÖRE, A VIZSGÁLATOK KÖRÜLMÉNYEI

A mérések helyszínén olyan építési területet választottunk, ahol három különböző építési fázisban lévő földműszakasz áll a résztvevő laboratóriumok rendelkezésére, annak érdekében, hogy az eredményeket minél szélesebb peremfeltételek mellett lehessen értelmezni. Egy szakaszon belül három kijelölt helyen izotópos tömörségmérésre és a B&C készüléket használók dinamikus tömörség- és teherbírásmérésére került sor. A kijelölt szakaszokon tengelyben történt a tárcsás teherbírásmérés akképpen, hogy egy laboratórium mérését követően a terhelő jármű 1-2 métert haladt előre, ahol a soron következő laboratórium végezhette el a teherbírásmérést. A szakaszokat szemre homogénnek tűnő területen jelöltük ki. A tárcsás teherbírásmérést követően, a tárcsa melletti területen könnyűejtősúlyos teherbírásmérésre is sor került. A mérések alaprajzi elrendezésének sematikus vázlatát az 1. ábra mutatja. A mérési helyszínek talajának azonosító vizsgálati jegyzőkönyveit a munkahelyi laboratórium bocsátotta a rendelkezésünkre. A jegyzőkönyvek alapján a három helyszín talajtípusa iszapos homok (I. helyszín) és kavicsos homok (II. és III. helyszín) talaj volt.



1. ábra: A mérések alaprajzi elrendezése

A vizsgálatsorozatban kilenc laboratórium vett részt. A résztvevő laborokat a szervezők választották ki. A választás fő szempontjai a nagy gyakorlat, illetve a nagy projektben való részvétel megléte volt, ugyanis a mérési eredmények megbízhatóságát szeretnénk volna minél pontosabban meghatározni, a mérési eredményeket a lehető legkevesebb mérési hibával terhelni, valamint a nagy projektekben tevékenykedő laborok eredményeit összevetni. Ezekon a feltételeken túlmenően a laboratóriumok NAT általi akkreditáltsága is feltétel volt. A résztvevő laboratóriumok nem rendelkeztek a méréssorozatba bevont valamennyi mérőberendezéssel. Az egyes mérési helyszíneken különböző eljárások által kapott eredmények számát az 1. táblázat mutatja.

2.2. AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSÉNEK MÓDSZERE

A vizsgálatsorozat elsődleges célja a szakmában tevékenykedő laboratóriumok mérési eredményeinek felhasználásával az egyes eljárások mérési megbízhatóságának – azonos körülmények közötti – számszerű meghatározása volt. Egy mérési módszer megbízhatóságának számszerűsítése meglehetősen nehéz feladat, hiszen az eredményekben több tényező (emberi, eszközbeli, inhomogenitási, módszerbeli stb.) együttes hatását kell figyelembe venni. Első körben a bonyolultabb számítást szeretnénk volna elkerülni, ezért az eredmények feldolgozását első közelítésben nem bonyolult statisztikai módszerekkel, hanem általunk észszerűnek tartott elemzéssel értékeltük ki. Az értékelési módszer, amelyet választottunk, a mérés megbízhatóságának számszerű megfogalmazását teszi lehetővé, azonban az eredményekben

¹ Építőmérnök, laboratóriumvezető, tudományos segédmunkatárs, Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft.

1. táblázat: Az egyes mérési módszerek helyszínenkénti mérési eredményeinek száma

Mérés helye		Statikus tárcsás teherbírásmérés MSZ 2509-3:1989	Radiometriás tömörségmérés ÚT 2-3.103:1998	Könnyűejtősúlyos teherbírásmérés ÚT 2-2.119:1998	Dinamikus tömörség- és teherbírásmérés ÚT 2-2.124:2005
I	A	9	9	8	4
	B		9		4
	C		9		4
II	A	9	9	8	4
	B		9		4
	C		9		4
III	A	9	9	8	4
	B		9		4
	C		9		4

a bizonytalansági faktorok arányát nem képes megadni, gyakorlatilag együttesen kezeli azokat. Ezzel a módszerrel tehát megállapítható, hogy például egyazon építési helyen egyazon szelvényben a kivitelezői és kontroll laboratórium eredményeinek milyen mértékű eltérésére lehet számítani. Az elemzést úgy végeztük el, hogy a statisztikai paraméterek (átlag, szórás, terjedelem, relatív szórás) meghatározását követően az adatokból eltávolítottuk az adatsor szélső értékeit (minimum, maximum), és így a korrigált paramétereket ismételtlen meghatároztuk. Az így kapott paraméterek segítségével a korrigált átlagtól mint várható értéktől való eltérések számíthatóvá váltak.

A számítást úgy végeztük, hogy a *várható érték* \pm *terjedelem/2* értéket határoztuk meg a következőképpen:

- a korrigált átlagértéket meghatároztuk,
- a korrigált terjedelmeket számoltuk (max – min),
- a mérések helyszínenként számított terjedelmeinek átlagát meghatároztuk,
- a mérés megbízhatóságát a *korrigált átlag (várható érték) \pm korrigált terjedelem/2* értékkel jellemeztük.

2. táblázat: Statikus tárcsás teherbírásmérés (MSZ 2509-3) eredményei

Megnevezés	I. mérési hely				II. mérési hely				III. mérési hely				Hibák száma
	E_1	E_2	T_t	t	E_1	E_2	T_t	t	E_1	E_2	T_t	t	
	MPa				perc				MPa				
1. laboratórium	43,2	58,4	1,35		11,6	22,1	1,91	< 3	57,5	82,7	1,44	< 2	4
2. laboratórium	50,3	78,5	1,56	2,5	36,6	57,1	1,56	1,5	47,9	79,1	1,65		2
3. laboratórium	36,0	60,2	1,67	7	31,1	46,9	1,51		39,9	81,8	2,05		0
4. laboratórium	60,1	78,2	1,30		19,5	36,6	1,88	6	55,1	79,4	1,44		1
5. laboratórium	48,9	71,0	1,45	14	24,3	41,8	1,72	10	42,9	71,2	1,66	12	0
6. laboratórium	41,4	61,8	1,49		22,5	35,3	1,57		26,5	60,0	2,26		2
7. laboratórium	33,9	55,4	1,63		31,3	52,8	1,69		41,8	75,5	1,81		1
8. laboratórium	45,5	52,1	1,15		30,7	63,8	2,08		38,8	79,7	2,05		2
9. laboratórium	46,7	71,7	1,54	< 3	35,4	58,9	1,66	< 3	46,7	61,1	1,31		0
Átlag, korrigált:	44,6	65,2	1,5		27,8	47,1	1,7		44,7	75,4	1,7		
Szórás, korrigált:	4,9	8,4	0,1		5,8	9,6	0,1		5,7	7,2	0,3		
Minimum, korrigált:	36,0	55,4	1,3		19,5	35,3	1,6		38,8	61,1	1,4		
Maximum, korrigált:	50,3	78,2	1,6		35,4	58,9	1,9		55,1	81,8	2,1		
Terjedelem, korrigált:	14,3	22,8	0,3		15,9	23,6	0,4		16,3	20,7	0,6		
Relatív szórás, korrigált, %:	11	13	8		21	20	8		13	10	15		
A vizsgált három mérési hely terjedelmeinek átlaga:	E_1	16 MPa											
	E_2	22 MPa											
	T_t	0,42											
Átlagos megbízhatóság a vizsgálati tartomány fel-tüntetésével:	E_1	Átlag (várható érték) \pm 8 MPa						20–55 MPa					
	E_2	Átlag (várható érték) \pm 11 MPa						35–80 MPa					
	T_t	Átlag (várható érték) \pm 0,21						1,30–2,10 perc					

3. AZ EGYES ELJÁRÁSOK MEGBÍZHATÓSÁGÁNAK MEGHATÁROZÁSA

3.1. STATIKUS TÁRCSÁS TEHERBÍRÁSMÉRÉS EREDMÉNYEINEK ELEMZÉSE

A statikus tárcsás teherbírás mérés a földművek minőség-ellenőrzésének egyik legfontosabb, legszélesebb körben alkalmazott eljárása. A szakemberek a legmegbízhatóbb eljárások között említik e vizsgálatot, amely a földmű teherbírásáról ad tájékoztatást. A mérés lényege, hogy egy 300 mm átmérőjű tárcsát ellensúly segítségével több lépcsőben, földművek esetén 0,3 MPa-ig, a konzolidáció megfelelő mértékű kiváráásával terhelünk. A vizsgálat során az erő és a süllyedés összefüggését mérjük, majd a mért eredmények alapján számítjuk a teherbírás modulus értékét. A vizsgálattal meghatározott egyéb paraméterek, mint például a tömörítési tényező (T_p) értéke, tájékoztatást adnak a tömörségi viszonyokról is. A vizsgálatot – elterjedt alkalmazása révén – mind a

kilenc résztvevő laboratórium az előzőekben részletezett feltételek mellett végrehajtotta. A vizsgálatok előtt tájékoztattuk a vizsgáló személyeket, hogy akkreditált laboratóriumi személyzet lévén, tartsák be a vonatkozó szabvány előírásait. Az értékelést a már részletezett módszer alapján végeztük el. A kapott eredményeket a 2. táblázat ismerteti. A táblázatban feltüntettük az E_1 , E_2 és T_t értékeit. Az értékelésnél figyelmen kívül hagyott, egy mérési helyre jellemző eredmények minimumát és maximumát sötétebb színrel jelöltük. A megmaradt hét eredmény statisztikai paraméterei alapján került meghatározásra a mérési helyekre jellemző megbízhatóság. Az eljárás megbízhatóságát a három helyszín mérési megbízhatóságának átlagértékével jellemeztük. Az így adódó mérési terjedelem meglehetősen nagy értéket eredményezett. Ha egy példával szeretnénk élni és számszerűsítjük az eredményt, akkor elmondható, hogy ha az egyik laboratórium 30 MPa-os E_2 -t mért, akkor előfordulhat, hogy egy másik laboratórium 50 MPa feletti E_2 modulust produkál. Ez az eltérés jelentős mértékű, amely több – a későbbiekben megfogalmazott – kérdést is felvet.

3. táblázat: Radiometriás tömörségmérés statisztikai eredményei a vizsgált kilenc mérési helyszínen

Megnevezés	I/A mérési hely				I/B mérési hely				I/C mérési hely			
	$\rho_{n\text{átl}} \text{ g/cm}^3$	$W_{\text{átl}} \%$	$\rho_{d\text{átl}} \text{ g/cm}^3$	$T_{ry} \%$	$\rho_{n\text{átl}} \text{ g/cm}^3$	$W_{\text{átl}} \%$	$\rho_{d\text{átl}} \text{ g/cm}^3$	$T_{ry} \%$	$\rho_{n\text{átl}} \text{ g/cm}^3$	$W_{\text{átl}} \%$	$\rho_{d\text{átl}} \text{ g/cm}^3$	$T_{ry} \%$
Eltávolított adatok száma:	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2
Átlag, korrigált:	2,12	9,10	1,94	98,4	2,08	9,72	1,89	96,1	2,12	9,91	1,93	97,7%
Szórás, korrigált:	0,02	0,53	0,02	1,1	0,01	0,53	0,02	0,9	0,02	0,47	0,02	0,9%
Minimum, korrigált:	2,08	8,49	1,91	97,0	2,06	8,92	1,87	94,9	2,10	9,31	1,90	96,4%
Maximum, korrigált:	2,15	9,93	1,97	100,0	2,09	10,36	1,92	97,5	2,14	10,63	1,95	99,2%
Terjedelem, korrigált:	0,07	1,44	0,06	3,0	0,03	1,44	0,05	2,6	0,04	1,32	0,05	2,8%
Relatív szórás, korrigált, %	1,1	5,8	1,1	1,1	0,6	5,5	0,9	0,9	0,8	4,8	0,8	0,9%
Megnevezés	II/A mérési hely				II/B mérési hely				II/C mérési hely			
Eltávolított adatok száma:	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Átlag, korrigált:	1,93	10,39	1,75	93,0	2,12	9,16	1,94	103,1	1,96	8,31	1,82	96,7%
Szórás, korrigált:	0,02	0,82	0,03	1,8	0,02	0,54	0,01	0,7	0,03	1,21	0,04	2,2%
Minimum, korrigált:	1,90	9,34	1,70	90,6	2,10	8,53	1,92	102,0	1,92	6,84	1,77	94,1%
Maximum, korrigált:	1,96	11,87	1,79	95,2	2,17	9,84	1,96	104,4	2,01	10,07	1,89	100,3%
Terjedelem, korrigált:	0,06	2,53	0,09	4,5	0,07	1,30	0,05	2,4	0,08	3,23	0,12	6,2%
Relatív szórás, korrigált, %	1,1	7,9	2,0	1,9	1,0	5,9	0,7	0,7	1,5	14,6	2,3	2,3%
Megnevezés	III/A mérési hely				III/B mérési hely				III/C mérési hely			
Eltávolított adatok száma:	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Átlag, korrigált:	2,23	7,90	2,06	94,7	2,23	7,91	2,06	94,6	2,22	7,10	2,07	95,0%
Szórás, korrigált:	0,01	0,86	0,02	0,9	0,02	0,49	0,02	0,9	0,02	0,56	0,02	0,9%
Minimum, korrigált:	2,22	6,97	2,03	93,0	2,21	7,27	2,03	93,2	2,20	6,33	2,05	93,9%
Maximum, korrigált:	2,26	9,28	2,09	96,0	2,25	8,48	2,10	96,2	2,25	7,91	2,10	96,2%
Terjedelem, korrigált:	0,04	2,31	0,07	3,0	0,04	1,21	0,06	3,0	0,05	1,59	0,05	2,4%
Relatív szórás, korrigált, %	0,6	10,9	1,0	1,0	0,7	6,2	1,0	1,0	0,8	7,8	0,9	0,9%

4. táblázat: Radiometriás tömörségmérés statisztikai értékelése

A vizsgált kilenc mérési hely terjedelmeinek átlaga:		
ρ_n	0,05 g/cm ³	
ρ_d	0,07 g/cm ³	
w	1,8%	
T_{py}	3,3%	
A vizsgált kilenc mérési hely relatív szórásának átlaga:		
ρ_n	0,9%	
ρ_d	1,2%	
w	7,7%	
T_{py}	1,2%	
Átlagos megbízhatóság		Vizsgálati tartomány
ρ_n	± 0,025 g/cm ³	1,93–2,23 g/cm ³
ρ_d	± 0,035 g/cm ³	1,75–2,07 g/cm ³
w	± 0,9 %	7,2–10,4%
T_{py}	± 1,65 %	90–103%

3.2. RADIOMETRIÁS TÖMÖRSÉGMÉRÉS EREDMÉNYEINEK ELEMZÉSE

Abban az esetben, ha egy megfelelő szemmegoszlású talajt megfelelő technológiával megfelelő mértékben tömörítünk, az építést követő konszolidációs süllyedések várhatóan alacsonyak lesznek. A tömörség meghatározása úgy történik, hogy módosított Proctor-vizsgálattal megállapítjuk az adott talaj Proctor-berendezéssel elérhető maximális térfogatsűrűségének értékét, majd ugyanannak a talajnak az építés helyszínén elért térfogatsűrűségét is valamilyen berendezéssel megmérjük. A két sűrűségi eredmény hányadosa adja a bedolgozott talajréteg tömörségét, százalékban kifejezve azt. Hazánkban a legelterjedtebb mérési módszer a radiometriás tömörségmérés, amellyel a nedves térfogatsűrűséget, valamint a talaj víztartalmát határozzuk meg. A két mérési eredményből a tömörség meghatározásához szükséges száraz térfogatsűrűség (ρ_d) számíthatóvá válik.

Az eljárás a talaj térfogatsűrűségének gyors meghatározását teszi lehetővé. Előnye az eljárásnak, hogy az eredmény meghatározásában a kezelő személy alárendelt szerepet tölt be. A módszer a tömegmérésre való alkalmazása miatt terjedt el, a szakemberek között a mérést illetően azonban megoszoló vélemények alakultak ki. Az alkalmazása szigorú egészségügyi és alkalmazási feltételekhez van kötve, az egészségkárosító sugárzás kibocsátása miatt az eljárásnak Európában bizonyosan nincs jövője.

A földművek minőségi követelményei az elmúlt évek során jelentős mértékben megemelkedtek, amelyek minősítése a mérési módszerek korlátai miatt meglehetősen bizonytalanok. A 95 és 97%-os előírások közötti különbség megállapításához rendkívül megbízható mérési módszerekre van szükség.

Az ÚTLAB Szövetség Műszaki Szabályozási Bizottsága éppen ezért tartotta fontosnak, hogy a minősítési eljárások megbízhatóságát terepi (valós) körülmények között kísérje meghatározni. A vizsgálatokat kilenc laboratórium részvételével hajtottuk végre. A méréseket 3 × 3 helyszínen, homogén tömörségűnek feltételezett, körülbelül 4 × 4 m-es területen végezték el a laboratóriumok. Fontos megemlíteni azonban, hogy a mérés céljára kijelölt 4 × 4 m-es

5. táblázat: Könnyűejtősúlyos teherbírásmérés (ÚT 2-2.119) eredményei

Megnevezés	I. mérési hely	II. mérési hely	III. mérési hely
	E_{vdM}	E_{vdM}	E_{vdM}
MPa			
1. laboratórium	60,2	20,8	55,2
3. laboratórium	66,0	37,6	55,5
4. laboratórium	70,8	24,8	63,0
5. laboratórium	50,4	35,8	52,2
6. laboratórium	59,9	30,8	46,8
7. laboratórium	76,8	38,8	50,5
8. laboratórium	51,4	42,8	52,8
9. laboratórium	52,3	40,8	49,1
Átlag:	61,0	34,0	53,1
Szórás:	9,7	7,8	5,0
Minimum:	50,4	20,8	46,8
Maximum:	76,8	42,8	63,0
Terjedelem:	26,4	22,0	16,2
Relatív szórás, % (átlag/szórás)	15,9	23,0	9,3
Átlag, korrigált:	60,1	34,8	52,6
Szórás, korrigált:	7,6	5,9	2,5
Minimum, korrigált:	51,4	24,8	49,1
Maximum, korrigált:	70,8	40,8	55,5
Terjedelem, korrigált:	19,4	16,0	6,4
Relatív szórás, korrigált, %	12,6	17,1	4,8
A vizsgált három mérési hely terjedelmeinek átlaga, E_{vdM} , MPa		14	
Átlagos megbízhatóság		±7	
Vizsgálati tartomány, MPa		25–75	

területen a laboratóriumok viszonylagosan a terület közepére koncentráltan végezték a méréseket, így becslésem szerint a mérések nagy része egy 2 × 2 m-es területre koncentrálódott.

A kilenc mérési helyszínen kapott átlageredményeket a 3. és 4. táblázat ismerteti. A táblázatokban nem szerepeltettük a vizsgálat-sorozat során kapott eredményeket, hanem csupán a már említett szélsőértékek elhagyásával számított, mérési helyekre jellemző statisztikai adatokat ismertetjük. A táblázatok a nedves térfogatsűrűség (ρ_n), a víztartalom (w), a száraz térfogatsűrűség (ρ_d), valamint a munkahelyi laboratórium által rendelkezésünkre bocsátott, a talajra jellemző Proctor-vizsgálat eredményeiből (mérésekkel megegyező napon vett mintákból) számított tömörségi eredményeket (T_{py}), továbbá az előzőekben ismertetett módon meghatározott megbízhatóságokat tartalmazzák. Az eredményekből kitűnik, hogy a száraz térfogatsűrűségek tekintetében viszonylag széles tartományban történtek mérések. A víztartalom mérés esetében viszont a mintegy 3%-os terjedelem meglehetősen alacsony, így a mérés megbízhatósága ezen a szűk tartományon értelmezhető.

A víztartalom mérés megbízhatóságára szolgáló eredmények szűk terjedelme azért is sajnálatos, mert a mérési módszer megbízhatósága ellen éppen a víztartalom mérés korlátai szólnak, me-

6. táblázat: A B&C mérési eljárás statisztikai eredményei

Megnevezés	Mérési hely						
	Tárcsás mérés mellett	I/A		I/B		I/C	
	E_d MPa	E_d MPa	T_{rd} %	E_d MPa	T_{rd} %	E_d MPa	T_{rd} %
Átlag:	88,68	71,15	98,75	87,43	99,25	96,03	99,00
Szórás:	18,60	16,12	0,50	20,77	0,50	31,00	0,00
Minimum:	71,40	48,30	98,00	56,80	99,00	67,50	99,00
Maximum:	113,00	82,60	99,00	103,00	100,00	138,00	99,00
Terjedelem:	41,60	34,30	1,00	46,20	1,00	70,50	0,00
Relatív szórás, %:	21,0	22,7	0,5	23,8	0,5	32,3	0,0
Megnevezés	Mérési hely						
	Tárcsás mérés mellett	II/A		II/B		II/C	
	E_d MPa	E_d MPa	T_{rd} %	E_d MPa	T_{rd} %	E_d MPa	T_{rd} %
Átlag:	38,84	28,75	97,25	26,65	97,50	27,03	98,50
Szórás:	10,51	5,39	1,50	14,24	1,29	7,12	0,58
Minimum:	33,00	20,70	96,00	17,10	96,00	20,50	98,00
Maximum:	57,50	32,20	99,00	47,70	99,00	37,10	99,00
Terjedelem:	24,50	11,50	3,00	30,60	3,00	16,60	1,00
Relatív szórás, %:	27,1	18,8	1,5	53,4	1,3	26,4	0,6
Megnevezés	Mérési hely						
	Tárcsás mérés mellett	III/A		III/B		III/C	
	E_d MPa	E_d MPa	T_{rd} %	E_d MPa	T_{rd} %	E_d MPa	T_{rd} %
Átlag:	78,00	91,25	99,00	32,38	93,67	67,90	97,00
Szórás:	6,81	1,04	0,00	14,59	4,16	12,68	2,16
Minimum:	67,50	90,40	99,00	14,40	89,00	56,20	94,00
Maximum:	84,00	92,70	99,00	48,00	97,00	84,80	99,00
Terjedelem:	16,50	2,30	0,00	33,60	8,00	28,60	5,00
Relatív szórás, %:	8,7	1,1	0,0	45,1	4,4	18,7	2,2
A vizsgált mérési helyek terjedelmeinek átlaga:				E_{dM}	29,7		
				T_{rdM}	2,4		
A vizsgált mérési helyek relatív szórásának átlaga:				E_{dM}	24,9%		
				T_{rdM}	1,2		
Átlagos megbízhatóság:				E_{dM}	átlag ± 15 MPa		15–140
Vizsgálati tartomány, MPa:				T_{rdM}	átlag ± 1,2%		94–100

lyek különösen a 14–15% feletti víztartalmak esetén jelentenek problémát. A tömörségmérési eredményekből világosan kitűnik, hogy a tömörségmérési eredmények mintegy 3%-os terjedelme egyértelműen megkérdőjelezi a 95–97%-os tömörségi előírások tarthatóságát a vizsgált eszköz által szolgáltatott eredményeket illetően.

3.3. KÖNNYŰEJTŐSÚLYOS TEHERBÍRÁSMÉRÉS EREDMÉNYEINEK ELEMZÉSE

A könnyűejtősúlyos teherbírás-mérési módszer kialakulása a statikus tárcsás teherbírás mérés hátrányos tulajdonságainak köszönhető. Sok esetben előfordult ugyanis, hogy a szűk munkaterület, vagy a padkán való mérés miatt a statikus tárcsás vizsgálat kivitelezhetetlen volt a munkaterület terhelőjárművel történő megközelíthetlensége miatt. A teherbírás számszerű ismeretét azonban a szakma megkövetelte, így olyan mérési módszert kellett kifejleszteni, amellyel a teherbírás mérése a szűk, terhelőjárművel meg nem közelíthető helyen is elvégezhető. Ez az igény vezetett a könnyűejtősúlyos mérési módszerek kialakulásához és fejlődéséhez.

A mérés lényege, hogy egy 300 mm átmérőjű tárcsára meghatározott tömeget adott magasságból vezető rúd közbeiktatásával ejtgetnek. Az ejtősúly a peremfeltételek ismeretében számítható terhelést ad át a tárcsának. Az eszköz a tárcsa dinamikus terhelésének következtében létrejött süllyedést méri, amely süllyedésből a dinamikus teherbírás modulus számíthatóvá válik. Az eszköz által szolgáltatott eredmények statikus tárcsás méréssel való összevetését már többen megkísérelték, az összefüggések megbízhatósága vélhetően az eltérő modellhatásnak köszönhetően azonban nem minden talaj esetében volt biztató.

A hazai minősítési rendszerben a statikus tárcsás teherbírás mérés mellett mind szélesebb körben alkalmazzák, az eredményét azonban sokan fenntartással kezelik. Az eredményeket az 5. táblázat tartalmazza. Az átlag ± 7 MPa-os mérési megbízhatóság azonban jobb eredményt mutat a statikus tárcsás mérés eredményénél. A lehetséges okokat a későbbiekben tárgyaljuk.

3.4. B&C KÖNNYŰEJTŐSÚLYOS TÖMÖRSÉG-ÉS TEHERBÍRÁSMÉRÉS EREDMÉNYEINEK ELEMZÉSE

A mérési eljárás a dinamikus teherbírás mérés továbbgondolása révén egy teljesen új mérési módszerként jelent meg a minősítő vizsgálatok között. Az eljárás egy lépcsőben képes mind a dinamikus teherbírás modulus, mind pedig a dinamikus tömörségi fokot meghatározni. A teherbírás mérésnél alkalmazott terhelési tartományt a statikus tárcsás terhelés értékére, 0,3 MPa-ra emelték akképpen, hogy a tárcsaátmérőt a 300 mm-ről annak mintegy felére csökkentették.

A dinamikus tömörséget a műszer a süllyedési amplitúdókból számítja, a mérésre kifejlesztett elmélet alapján. Az elmélet a dinamikus tömörségi fokot azonosnak tekinti a sűrűségarányból számított tömörségi eredménnyel. Az eszköz által szolgáltatott statisztikai eredményeket a 6. táblázat ismerteti. Az eredmények feldolgozásánál nem végeztük el a többi vizsgálatnál alkalmazott korrekciót, miszerint a szélsőértékek eltávolításával számoltuk a statisztikai paramétereket, ugyanis az eszközzel való mérésre a kilencből négy laboratórium készült fel. A négy adatból kettő eltávolítása pedig értékelhetetlenné tette volna az eredményeket. Így a mérések megbízhatóságának összehasonlításakor mindenképpen a korrekció nélküli eredményeket célszerű figyelembe venni, mely által valamelyest rosszabb eredményre jutunk a megbízhatóságot illetően. Jelen eredményeket tehát a mérések alacsony száma miatt fenntartással kell kezelni.

4. A KÜLÖNBÖZŐ ELJÁRÁSOK EREDMÉNYEINEK ÖSSZEVETÉSE, ÁTSZÁMÍTHATÓSÁGA

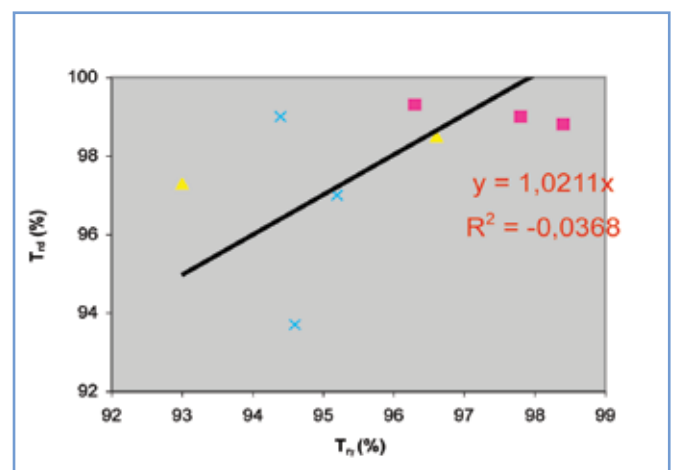
Az összehasonlító méréssorozat eredményei a mérések megbízhatóságának meghatározásán túl, az egyazon paraméter eltérő eszközökkel mért eredményeinek összehasonlítását is lehetővé teszi. A jelenlegi minősítési rendszerben az ismertetett eljárások egyidejűleg vannak jelen, így a földmű megfelelőségigazolására megállapított paramétereket eltérő mérési módszerekkel is meg tudjuk határozni. Egyes esetekben az eltérő eszköz eredményeire nincsenek külön minősítő határértékek meghatározva, így a minősítés szempontjából egyenértékűnek tekintik azok eredményeit.

Mivel a szakmának nagy az igénye (talán indokolatlanul) a különböző vizsgálati eredmények közötti átjárhatóságra, ezért több kísérletezéssel találkozhatunk az összehasonlíthatóságot illetően. Jelen vizsgálati sorozat a mérések megbízhatóságának felmérése mellett lehetőséget teremt arra is, hogy az eltérő mérési módszerek eredményei közötti kapcsolatot is megkíséreljük kimutatni. Megjegyzendő azonban, hogy egyértelmű, minden körülményre kiterjedő összefüggés a mérés körülményeinek behatároltsága miatt (hasonló talajtípusok, jól tömörített földmunka, közel azonos víztartalom stb.) vélhetően nem mutatható ki.

4.1. TÖMÖRSÉGMÉRÉSI EREDMÉNYEK ÖSSZEVETÉSE

Az előzőekben ismertetett két tömörségmérési eljárást egyre gyakrabban alkalmazzuk egyazon munkákon, a minőséggel szemben támasztott követelményként pedig ugyanazt a határértéket fogadjuk el mind a két eljárás esetén. Az eredmények közti azonosság kimutatása az eltérő modellhatás, az eljárások különbözősége, és a tömörségi paraméter változékonysága miatt meglehetősen nehéz feladat, ugyanakkor ennek igazolása elengedhetetlen a minősítő eljárásban résztvevő felek konfliktusainak elkerülése érdekében.

Mivel a dinamikus tömörségmérést négy laboratórium végezte el, az értékelést úgy tartottuk megfelelőnek, ha a két eljárással meghatározott mérési helyekre jellemző átlagértékeket hasonlítjuk össze. A 2. ábrán a két eljárással meghatározott tömörségeket úgy ábrázoltuk, hogy egyik tengelyen az egyik, a másik tengelyen az ugyanazon ponton a másik eljárással meghatározott tömörséget tüntettük fel.



2. ábra: Tömörségi eredmények (T_r és T_d) összevetése

Az adatokra illesztett origóból indított trendvonal egyenlete közelít az 1-hez, amely az eredmények egyezőségének feltétele, azonban az eredmények eléggé szórnak. Az eltérően jelölt pontok a három eltérő mérési helyszínen kapott eredményeket jelölik. Az eltérő jelölés nem mutatja valamely mérési helyszínen eredményeinek hibáját, így az eredmények ismeretében egyik talajtípus esetén sem mondható ki az egyértelmű azonosság. Az összes eredményre illesztett egyenes azonban az átlagérték környezetében fut.

4.2. TEHERBÍRÁS-MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÖSSZEVETÉSE

4.2.1. A STATIKUS TÁRCSÁS ÉS A KÖNNYŰEJTŐSÚLYOS (NAGYTÁRCSÁS) TEHERBÍRÁSMÉRÉS ÖSSZEVETÉSE

A statikus tárcsás teherbírásmérés korlátai miatt, annak részleges kiváltására fejlesztették ki a nagytárcsás (300 mm) könnyűejtősúlyos teherbírásmérést. A mérés gyors, egyszerű környezetbarát eljárás. Mivel a két módszert egyazon tulajdonság mérésére alkalmazzák, a kezdetektől nagy a törekvés a két eljárás eredményei közti átjárhatóság biztosítására, egymásnak történő megfeleltetésére. Több elmélet is született az átszámíthatóságra vonatkozóan. Az eredmények össz-

szevetését a rendelkezésünkre álló adatokból mi is elvégeztük. Az összehasonlítás eredményét a 3. ábra ismerteti.

A kiugró eredmények mindegyike az I. számú helyszínen eredményei közül került ki. Az I. helyszínen beépített talajtípus a másik kettőtől jellegében is különbözik, iszapos-homok talaj volt. A kiugró adatok eltávolításával az 4. ábra szerinti eredményre jutottunk.

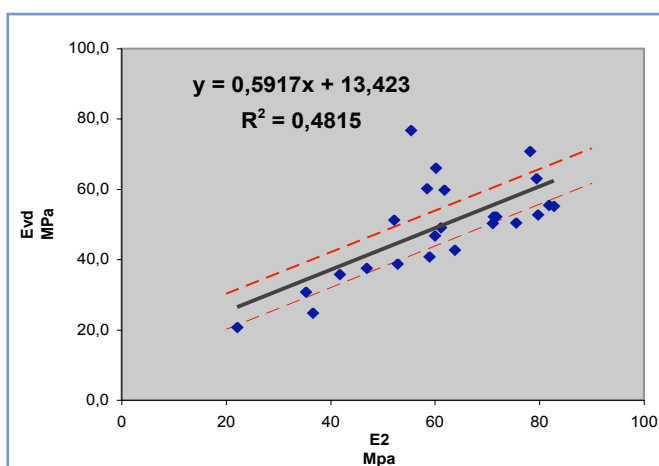
A kiugró adatokat piros színnel jelöltük. Az értékelésben meghagyott eredményekre jó megbízhatósággal illeszthetjük a trendvonalat. A szaggatott vonallal az átlag ± 5 MPa-os határokat jelöltük ki, melyet a mérési eredmények megfelelő biztonsággal kielégítenek. Az összefüggés a két eljárás között tehát ekkora mintaszám mellett már kimutatható, azonban az összefüggés talajtípusonként eltérő eredményt adhat.

4.2.2. A STATIKUS TÁRCSÁS ÉS A KÖNNYŰEJTŐSÚLYOS (KISTÁRCSÁS B&C) TEHERBÍRÁSMÉRÉS ÖSSZEVETÉSE

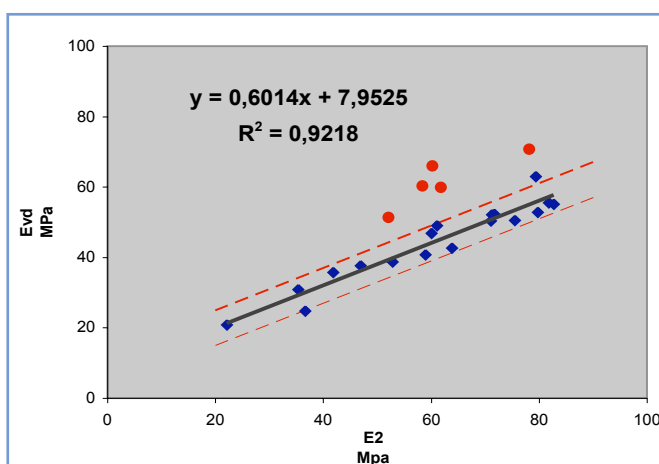
A kistárcsás teherbírásmérés, a méréshez alkalmazott terhelés nagyságát tekintve, megegyezik a statikus tárcsás terhelés nagyságával. Az eljárás fejlesztői, a kistárcsás könnyűejtősúlyos mérésnél, azért döntöttek a statikus tárcsás terheléssel megegyező terhelés biztosítása mellett, mert az azonos terheléstől a két eszköz által mért eredmények azonos nagyságrendjét várták.

Az eredmények összevetését nehezíti, hogy az összehasonlíthatósághoz az előzőeknél kevesebb adat áll rendelkezésre, mivel a B&C berendezéssel négy laboratórium mért a vizsgálatok helyszínén, így a kiértékelt eredmények csak tájékoztató jelleggel vehetők figyelembe. (5. ábra)

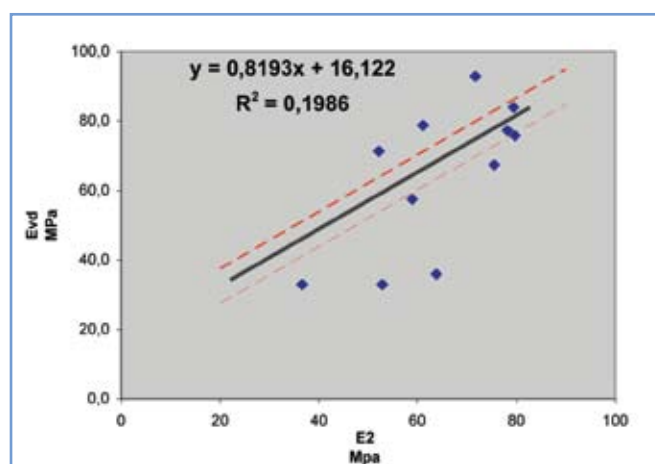
Abban az esetben, ha az adatok közül eltávolítjuk a szemre kiugró eredménypárokat (outliereket), továbbá az egyezés feltételezésével a trendvonalat az origóból indítjuk, a 6. ábra szerinti eredményre jutunk. Az így meghatározott összefüggés az átlagtól ± 5 MPa-os eltérés ábrázolásával megfelelő mértékű egyezőséget mutat a két eljárás eredményeinek összefüggését illetően. Az adatok száma azonban meglehetősen alacsony, a mérések alacsony számához képest sok a kiugró adat, így az eredmények fenntartással kezelendők.



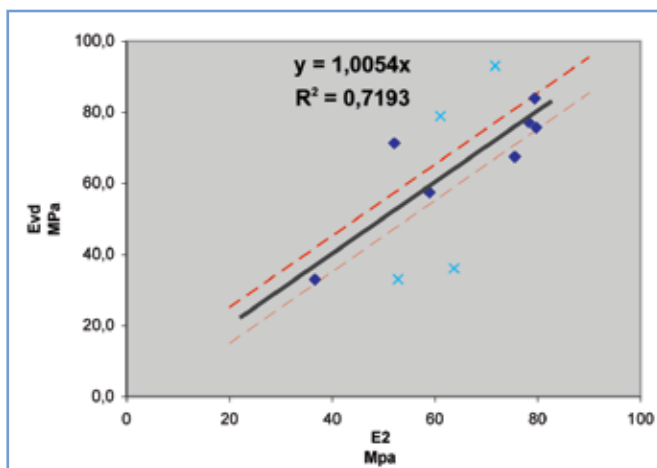
3. ábra: Statikus (E_2) és dinamikus (E_{vd}) teherbírási modulusok összehasonlítása (minden mért adattal)



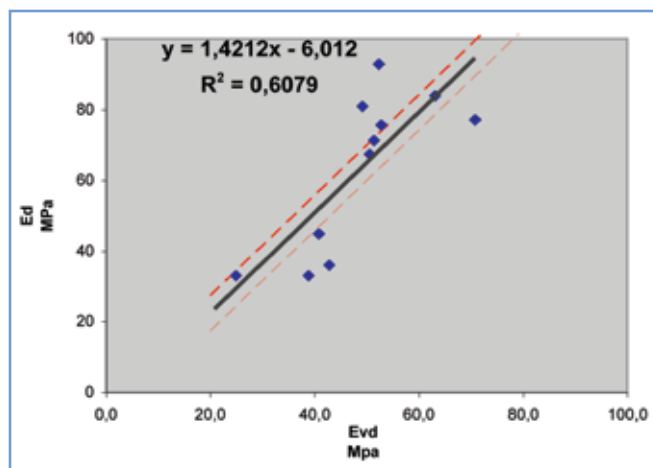
4. ábra: Statikus (E_2) és dinamikus (E_{vd}) modulusok összehasonlítása a kiugró értékek eltávolításával



5. ábra: Statikus (E_2) és dinamikus (E_{vd}) modulusok összehasonlítása



6. ábra: Statikus (E_2) és dinamikus (E_{vd}) modulusok összehasonlítása a kiugró adatok eltávolításával



7. ábra: Dinamikus modulusok összehasonlítása (összes mért adat)

4.2.3. A KÖNNYŰEJTŐSÚLYOS NAGYTÁRCSÁS ÉS A KÖNNYŰEJTŐSÚLYOS KISTÁRCSÁS (B&C) TEHERBÍRÁSMÉRÉS ÖSSZEVETÉSE

A hasonló mérési elv és kialakítás miatt mindenképpen szükségesnek tartjuk a könnyűejtősúlyos teherbírás mérések eredményeinek összevetését is. A megegyező modellhatás következtében biztató eredményekre lehet számítani, azonban a B&C mérésnél már említett alacsony mérésszám jelen esetben is félrevezető lehet. Az összes mért eredmény összevetését a 7. ábra mutatja.

Az előzőekben alkalmazott módszer, miszerint a kiugró adatokat eltávolítottuk, jelen esetben nem igazán alkalmazható, ugyanis a kiugró adatok eloszlásában nem fedeztünk fel semmilyen tendenciát. A 7. ábra alapján tehát azt a megállapítást tesszük, hogy az eljárások eredménye közti kapcsolat egyértelmű, pontos meghatározásához azonban több adatra van szükség.

5. TAPASZTALATOK, MEGÁLLAPÍTÁSOK

A vizsgálatok helyszínénél választott területen a háromból két helyen közel azonos talajtípuson zajlottak a mérések, így összességében elmondható, hogy az eredményeket a két talajtípusra vonatkozóan célszerű értékelni, a következtetéseket ezen a két talajtípuson lehet értelmezni. A vizsgálati területek mind-egyike viszonylag jól tömörített földmunkával bírt, így a gyengébb tömörségi és teherbírási körülmények melletti összefüggés megállapítására a jelen eredmények nem képesek. Az összehasonlítani kívánt vizsgálati eljárások között szereplő B&C mérés eredményeinek száma meglehetősen alacsony, így az eredmények megbízható kiértékelését nem teszik lehetővé. A korrekt összehasonlításhoz és állásfoglaláshoz elengedhetetlen, hogy az összehasonlításban résztvevő valamennyi eljárás azonos számú eredménnyel vegyen részt.

A tömörségmérési módszerek megbízhatóságának a felmérés-kor megállapítottuk, hogy terepi körülmények között a laboratóriumok – mindkét módszer esetében – hozzávetőlegesen 3%-os terjedelemmel voltak képesek a tömörségi fok meghatározására. Megjegyzendő azonban, hogy a B&C méréssel kapott eredmények száma mintegy fele az izotópos méréssel kapott eredmények számának, így a B&C mérésnél nem tudtuk a cikkben többször említett korrekciót elvégezni az adatokon. A tömörségi fok mérésének mintegy 3%-os terjedelme felveti például a 95 és 97%-os tömörségi fokok megbízható meghatározásának kérdé-

sét is, ugyanakkor felhívja a figyelmet az egyedi eredmények jelenlegitől eltérő szemlélet szerinti figyelembevételének kérdésére is – (egyetlen nem megfelelő eredmény sem lehet) és egy szakszon/rétegen történő statisztikai értékelés alkalmazására hívja fel a figyelmet.

A teherbírás mérésre alkalmazott statikus és dinamikus eljárások modellhatása, a terhelés mértéke és hatásmélysége is eltérő, amely következtében eredményeik összehasonlítása meglehetősen nehéz feladat. A felsorolt tényezők ugyanakkor az eljárások megbízhatóságát is nagymértékben befolyásolják. Elegendő – a teljesség igénye nélkül – a statikus mérésnél kimutatható gyengébb alsóbb rétegek eredményre gyakorolt hatására gondolni.

A statikus teherbírás mérés megbízhatóságának felmérésénél sajnálatos módon tapasztaltuk, hogy az jelentősen elmarad a tájékoztató jelleggel alkalmazott dinamikus mérés eredményéhez képest. A nagymértékű bizonytalanság mellett nem mehetünk el úgy, hogy annak okát nem kíséreljük meg feltárni. A cikk első felében ismerttettem, hogy a vizsgálat sorozatban résztvevő laboratóriumok milyen szempontok szerint kerültek kiválasztásra. Úgy véltük, hogy a kiválasztott – főként az autópálya-építésekben tevékenykedő – laboratóriumokkal a mérések megbízhatóságát a lehető legkevesebb mérési, módszerbeli hibával fogjuk terhelni. Annak érdekében, hogy az esetleges mérési hibákat kiszűrjük, a statikus tárcsás mérések alkalmával igyekeztünk a laboratóriumok mérésének széles körű megfigyelésére. Azoknál a méréseknél, amelyeknél jelen voltam, megmértem a statikus tárcsás mérésekre fordított időt. Ezeket az időtartamokat a 2. táblázat tartalmazza. Meglepve tapasztaltam, hogy egyes laboratóriumok 1-1,5 perc alatt képesek voltak az E_2 modulus meghatározására. Ennyi idő alatt a mérés végrehajtása a konszolidációs idők megfelelő mértékű kivárással nem lehetséges. Az eredmények értékelése során megvizsgáltuk, hogy a mérési idő rövidegének hatása megjelenik-e az eredményekben. Ennek az eredményekben nem volt szignifikáns hatása, azonban a mérési eredmények nagy terjedelmét bizonyosan befolyásolta. Az eredmények tehát megmutatták, hogy a legszigorúbb előírásokkal bíró projektekben tevékenykedő egyes laboratóriumok bizonyos minősítő vizsgálatokat illetően milyen szakmai színvonalat képviselnek, amelynek hatása a statikus tárcsás mérés eredményeinek terjedelmeiben is megjelenik.

A statikus tárcsás mérés megbízhatóságának eredménye egyértelműen felhívja a figyelmet arra, hogy a munkahelyi és a kontroll laboratórium eredményei között a jelenlegi projektekben

ilyen mértékű eltérés is előfordulhat, amelyek súlyos vitákat indukálhatnak. Az összehasonlító mérésorozat eredményei által megvizsgáltuk, hogy egyazon tulajdonságok eltérő eszközökkel történő meghatározása milyen összefüggést eredményez. A két tárgyalt tömörségmérési eljárás eredményének összevetését a 2. ábra ismerteti. Az összehasonlításhoz meglehetősen kevés adat állt rendelkezésünkre, ezért nem következtethetünk a két tényező azonosságára, habár az adatokra illesztett trendvonal meredeksége közelíti az azonosság feltételeként elvartét, az eredmények azonban eléggé szórnak.

Az eltérő teherbírás – mérési módszerek eredményeinek összevethetőségénél már utaltam az eltérő modellhatás, terhelési tartomány és hatásmélység eredményekre gyakorolt eltérő mértékére. Ennek ellenére megkíséreltük a vizsgálatsorozatba bevont eljárások eredményeinek összevetését. Összességében elmondható, hogy a statikus és dinamikus modulusok összefüggése kimutatható, azonban az összefüggés talajtípusonként jelentős mértékben eltérhet. Úgy véljük tehát, hogy általánosan alkalmazható képletek meglehetősen gyenge hatásfok mellett alkalmazhatók. Az átszámíthatóság nagyobb projektek esetén bizonyosan szükségtelen, hiszen az ÚT 2-1.222:2007 Utak és autópályák létesítésének általános geotechnikai szabályai című műszaki előírás is azt mondja, hogy adott projektek esetén az adott talajtípus alkalmazásának megítélését próbatömörítésekkel kell eldönteni, majd annak eredményei alapján megadhatók az egyes eljárásokkal mérendő eredmények határértékei. Követve az előírás gondolatmenetét, egyik eljárás eredményének másik eljárás eredményéből történő számítása szükségtelennek látszik. Kisebb projektek esetén természetesen előfordulhat az átszámítás igénye, azonban az eredményt fenntartással kell kezelni.

A vizsgálatok kiértékelését követően összességében megállapíthatjuk, hogy használható eredményre jutottunk a mérések megbízhatóságának meghatározását illetően, azonban az eredmények értékelését a mérési helyek jól tömörített állapota, a beépítési víztartalmak szűk terjedelme (7–10%), a mérési helyek talajának hasonlósága miatt szűk peremfeltételek mellett értékelhetjük. Javaslataink szerint, a jelenleg épülő autópálya-szakaszok próbatömörítéseinek megfelelően előkészített szervezésével és lebonyolításával sok érdekes és értékes tapasztalatra tehetnénk szert az átszámíthatóságot, a mérések korlátait, valamint a szakma felkészültségét illetően. Ezek a tapasztalatok fejlesztő hatást gyakorolhatnának a projektekben előírt követelményekre, hogy olyan elvárásokat támasszanak az építésben résztvevő felekkel szemben, amelyek betartása szakmai korrektség mellett biztosítható.

SUMMARY

ANALYSIS OF THE RELIABILITY OF SUBGRADE TEST METHODS

In spring 2008, Hungarian Highways Non-profit Company and Institute for Transport Sciences Non-profit Ltd – cooperating with the Specification Committee of UTLAB Association – organized a harmonization test series for evaluating the reliability of subgrade test methods. The present article outlines the organization features as well as the methodology and the results of the analysis. The analysis of the test results makes it possible to formulate some ideas on subgrade tests.

A KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI EGYESÜLET IRODALMI DÍJASAI 2008-BAN

A KTE szaklapjaiban megjelent legszínvonalasabb cikkeket évenként Irodalmi Díjjal jutalmazza az Országos Elnökség. A beérkezett javaslatokat az Irodalmi Díj Állandó Bizottság értékeli, rangsorolja, és döntésre az Országos Elnökség elé terjeszti. 2008-ban, a beérkezett 9 tanulmány értékelése, és az Országos Elnökség döntése alapján, a következő cikkek szerzői kaptak irodalmi díjat.

Borza Viktor – István György – Kormányos László – Vincze Béla: Integrált ütemes menetrend I., II., III. Közlekedéstudományi Szemle 2007/11 + 2007/12 + 2008/1.

Dr. Ercsey Zoltán – Gittinger Tibor – Kisteleki Mihály – Vincze Tamás: A Budapest Déli Pályaudvar és az elővárosi közlekedés I, II. Közlekedéstudományi Szemle, 2007/7 + 2007/8.

Fleischer Tamás: Az elérhetőségről, az elérhetőség fogalma + Az elérhetőség mérése, példákkal. Közúti és Mélyépítési Szemle, 2008/1-2 + 2008/3-4.

Molnár László: Gyűjtőpontban a városi-elővárosi közlekedés. Városi Közlekedés, 2008/1.

Dr. Monigl János: Az ELEKTRA HUNGÁRIA közlekedési csipkártya rendszer képességei és további esélyei Városi Közlekedés 2007/4.

Ureczky Judit – Tóth Csaba: A hőmérséklet teherbírásra gyakorolt hatásának vizsgálata. Közúti és Mélyépítési Szemle, 2008. 3-4.

KÖZÚTI BEAVATKOZÁSOK BIZTONSÁGI HATÉKONYSÁGA¹

DR. KOREN CSABA² – BORSOS ATTILA³

1. BEVEZETÉS

Az erőforrások optimális felhasználása érdekében szükséges a közlekedésbiztonságot javító számos intézkedés nyújtotta lehetőségek célravezető kiaknázása. Ennek előfeltétele azonban az egyes intézkedéstípusok hatékonyságának ismerete, azaz az egységnyi ráfordítással megtakarítható baleseti költségek meghatározása. Ezzel lehetővé válik az egyes intézkedéstípusok biztonsági hatékonyság szerinti rangsorolása, ill. a legnagyobb balesetköltség-megtakarítást eredményező intézkedéscsomagok összeállítása.

A szakirodalmi előzmények széles körű áttekintése során megállapítottuk, hogy eddig az EU támogatásával folytatott ROSEBUD projekt (ROSEBUD 2003, 2004, 2005) vizsgálta legalaposabban a témát nemzetközi együttműködésben, többek között a KTI közreműködésével.

Míg a ROSEBUD az esettanulmányok módszerét, egy-egy kiválasztott projekt elemzését alkalmazta, saját vizsgálatainkban számos projekt eredményeinek statisztikai feldolgozását céloztuk meg.

2. ADATGYŰJTÉS ÉS -FELDOLGOZÁS

A Magyar Közút Kht. megyei igazgatóságai kérésünkre megküldték a 2002., 2003. és 2004. évben végzett beavatkozások adatait. Ezeket az alábbi csoportokba soroltuk:

- autóbuszöböl építése
- fák kivágása
- csomópont átépítése
- forgalomcsillapító sziget építése
- forgalomtechnikai elemek elhelyezése
- gyalogátkelő sziget létesítése
- jelzőlámpa telepítése
- kerékpárút építése
- körforgalmú csomópont kialakítása
- négysávos, külön szintű átépítés
- útkorszerűsítés

Ez a lista az összes beavatkozást tartalmazta, függetlenül attól, hogy azt a forgalombiztonság javítása, vagy más célból végezték. Így összesen körülbelül 400 beazonosítható megoldáshoz jutottunk.

A beavatkozásokról az alábbi adatokat kértük:

- a beavatkozás jellege
- útszám
- szelvényszám (-tól, -ig)
- fekvés (külső terület, belső terület)
- munkaterület-átadás időpontja (év, hó, nap)
- forgalomba helyezés időpontja (év, hó, nap)
- bruttó költség (Ft)

Ezután megkerestük az egyes beavatkozásokhoz tartozó baleseteket. Minden esetben a beavatkozás éve előtti és utáni három-három teljes év személyi sérüléssel kapcsolatos adatait gyűjtöttük ki, kivéve a 2004. évi beavatkozásokat, ahol az utána időszak csak két évre terjedt ki. A kigyűjtött adatok az alábbiak voltak:

- halálos balesetek száma
- súlyos sérüléssel kapcsolatos balesetek száma
- könnyű sérüléssel kapcsolatos balesetek száma
- meghalt személyek száma
- súlyosan sérült személyek száma
- könnyen sérült személyek száma

Szakasz jellegű beavatkozások esetén a balesetek értelem szerűen arra a szakaszra vonatkoztak, míg pontszerű beavatkozások esetén az előtte és utána lévő 100 m-es szakaszt tekintettük viszonyítási alapnak.

E munkafázis alatt a vizsgált projektek száma csökkent, mivel nem minden beavatkozást lehetett hely szerint pontosan azonosítani, vagy nem álltak rendelkezésre költségadatok. Összesen 270 beavatkozásra tudtuk a számításokat elvégezni.

A balesetek fajlagos költségeit a COWI által a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség felkérésére 2007-ben készített „Módszertani útmutató közúti projektek költség-haszon elemzéséhez” (COWI, 2007) alapján vettük fel az alábbiak szerint:

- halálos: 261,12 millió Ft/áldozat
- súlyos sérülés: 18,12 millió Ft/sérült
- könnyű sérülés: 1,3 millió Ft/sérült

Ezek az értékek egyébként a KTI vizsgálataiból származnak és a korábbi GKM útmutató is ezeket használta.

Az egyes beavatkozásoknál (projekteknél) az alábbi mutatókat határoztuk meg:

- a projekt költsége
- az egy évre jutó balesetek számának változása az előtte–utána időszakban
- az egy évre jutó meghalt, megsérült személyek számának változása az előtte–utána időszakban
- az egy évre jutó baleseti költségmegtakarítás (haszon)
- haszon/költség hányados

A vizsgált projekteknek természetesen más jellegű hasznai is vannak, de e munkában csak a baleseti költségek megtakarítására koncentráltunk.

Az egyes beavatkozástípusokra az alábbi összegzéseket végeztük el:

- a projektek összes költsége
- éves balesetek összes számának változása előtte–utána
- meghalt, megsérült személyek összes számának változása előtte–utána

¹ A cikk a Magyar Közút Kht. megbízásából készített „Közúti biztonsági beavatkozások hatékonyságvizsgálati módszerének kidolgozása” című tanulmány (Koren et al., 2007) főbb eredményeit mutatja be.

² Tanszékvezető egyetemi tanár, Széchenyi István Egyetem, e-mail: koren@sze.hu

³ Egyetemi tanársegéd, Széchenyi István Egyetem, e-mail: borsosa@sze.hu

- az éves balesetköltség-megtakarítás összege (éves összes haszon)
- haszon/költség hányados (éves összes haszon/összes költség)
- a projektenkénti éves balesetköltség-megtakarítások eloszlása
- a projektenkénti haszon/költség hányadosok eloszlása

A haszon/költség számításokban általában hosszabb időtartamra (30 évre) vonatkozó becsült költségeket és hasznokat összegzik. Esetünkben nem ilyen hosszú időszakra, hanem csak az előtte időszak és az utána időszak három-három évének egy évre vonatkozó átlagai közötti különbségeket számítottuk. Lehetett volna a későbbi évek balesetköltség-megtakarításait is extrapolálni, de ez jelentős bizonytalanságokat rejtett volna magában. Az is a választott számítási módszer mellett szól, hogy ez az egyszerű mutató alkalmas különböző projektek illetve beavatkozástípusok hatékonyságának bemutatására.

Első vizsgálataink a megyei igazgatóságok által beküldött összes projekt átlagára vonatkoztak, tehát nem csak azokra, amelyek biztonsági szempontból a baleseti adatok alapján kritikusnak mutatkoztak. Elkészítettünk ezért egy olyan kigyűjtést és feldolgozást is, ahol csak azokat a projekteket vettük számításba, ahol az előtte időszakban történtek balesetek. Különbséget kell tennünk az intézkedések általános biztonsági hatékonysága, és mint balesetigóc-pont-javító intézkedés biztonsági hatékonysága között.

3. EREDMÉNYEK

Minden intézkedéstípusnál a költségmegtakarítások, ill. költség/haszon hányadosok eloszlását külön-külön vizsgáltuk. Az átlagértékeket az elemzés végén összefoglaló táblázatokban közöljük.

3.1. AUTÓBUSZÖBÖL-ÉPÍTÉS

Összesen kilenc ilyen intézkedést találtunk a mintában, ebből nyolc esetben nem volt változás, egy esetben pedig csökkent a balesetek száma. A kis minta miatt ennél az intézkedéstípusnál az eredmények nem sokat mondanak.

3.2. FÁK KIVÁGÁSA

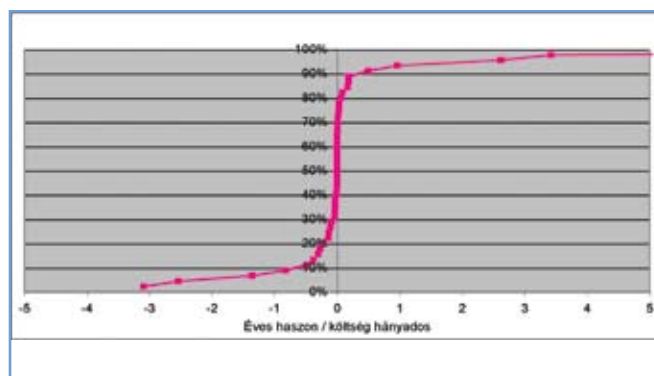
Ilyen intézkedést csak két megyéből jelentettek, összesen 19 helyszínről, ezért az eredményeket körültekintéssel kell kezelni. Egy intézkedés átlagosan 12 millió Ft balesetköltség-megtakarítást hozott, hét esetben nem volt balesetszám-változás, hat esetben csökkent, hat esetben viszont nőtt a baleseti költség.

Ha csak az előtte balesetes helyszíneket vizsgáljuk (12 eset), az átlagos balesetköltség-megtakarítás magasabb, már 21 millió Ft. Figyeljük meg azonban, hogy itt is – mint minden más intézkedéstípusnál – vannak a biztonság romlását mutató példák.

Tekintettel arra, hogy ezen intézkedések költsége minimális, az egy évre vonatkoztatott haszon/költség hányados igen magas, átlagértéke 60-70. E mutató is tág határok között változik.

3.3. CSOMÓPONT-(ÁT)ÉPÍTÉS

Összesen 46 csomópont-átépítési beavatkozást vizsgáltunk, ilyen szinte minden megyéből jelentettek. A beavatkozások döntően balra és jobbra forduló sávok, esetenként ezekkel rendelkező új csomópontok építését jelentették. Az átlagos balesetköltség-megtakarítás mintegy 2 millió Ft volt. E mutató szórása is jelentős, a legnagyobb megtakarítás illetve veszteség 90 millió Ft körüli volt.



1. ábra: Az éves haszon/költség hányados megoszlása (csomópont-átépítés)

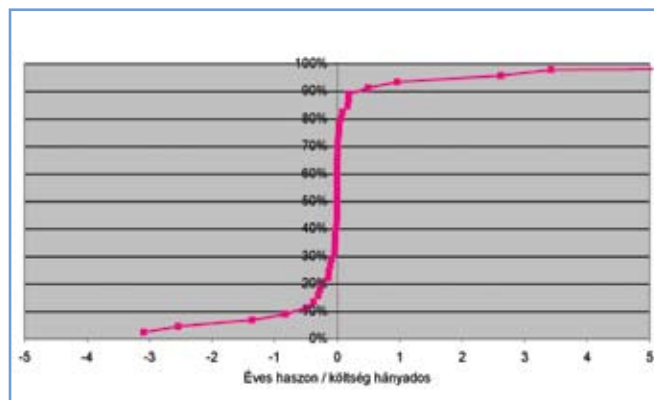
Az egy évre vonatkoztatott haszon/költség hányados ezen intézkedésnél átlagosan 0,05 értékűnek adódott. Itt is jelentős a szórás, a legnagyobb hatékonysági mutató majdnem 4, de találkoztunk -3 -nál kisebb értékkel is (1. ábra). Ez az eloszlásfüggvényt mutatja, hogy az esetek mintegy 20%-ában (a 80% feletti rész) a haszon pozitív, a helyszínek mintegy 30%-ában negatív és a maradék 50%-ban nem történt változás, azaz a haszon nulla értékű.

Ha csak az előtte balesetes helyszíneket vizsgáljuk (26 csomópont), az átlagos balesetköltség-megtakarítás magasabb, már közel 5 millió Ft, az egy évre vonatkoztatott haszon/költség hányados pedig 0,13. Ez 7-8 éves megtérülést jelent csak a baleseti költségekből, nem számolva az egyéb előnyöket. Itt is vannak azonban a biztonság romlására utaló példák.

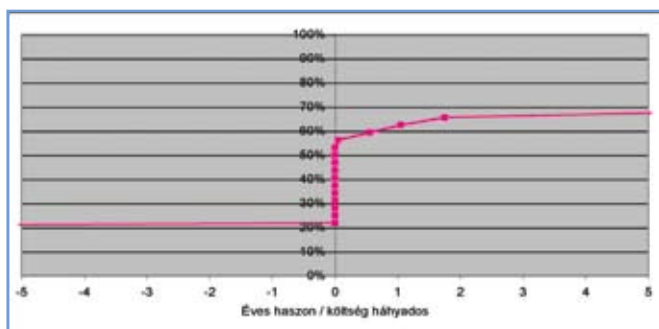
3.4. FORGALOMCSILLAPÍTÓ SZIGETEK

A mintában 22 ilyen intézkedés volt, az átlagos balesetköltség-megtakarítás 2 millió Ft, az egy évre vonatkoztatott átlagos költség/haszon hányados 0,08. Az intézkedések mintegy felében nem változott a balesetek száma, a maradék eset többségében a hatás pozitív, de itt is van néhány eset, amikor az intézkedés negatív hatással járt (pl. a jármű felszaladt a szigetre) (2. ábra). Ez az eloszlásfüggvényt mutatja, hogy az esetek mintegy 30%-ában (a 70% fölötti rész) a haszon pozitív, a helyszínek mintegy 20%-ában negatív és a maradék 50%-ban nem történt változás, azaz a haszon nulla értékű.

Ha csak az előtte balesetes helyszíneket vizsgáljuk (tíz szakasz), az átlagos balesetköltség-megtakarítás már 13 millió Ft, az egy



2. ábra: Az éves haszon/költség hányados megoszlása (forgalomcsillapító szigetek)



3. ábra: Az éves haszon/költség hányados megoszlása (forgalomtechnikai elemek)

évre vonatkoztatott haszon/költség hányados pedig 1,6. Ez 7-8 hónapos megtérülést jelent. Itt is vannak azonban a biztonság romlására utaló példák.

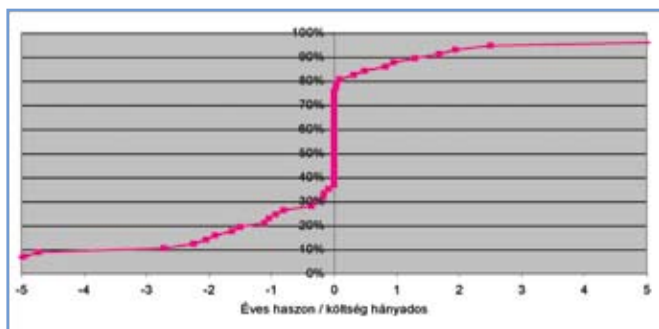
3.5. FORGALOMTECHNIKAI ELEMÉK ALKALMAZÁSA

Ezen intézkedéscsoportban sebességkorlátozó jelzőtáblák, előzési tilalmak, fényvisszaverő prizmák és hasonló intézkedések szerepeltek. Az átlagos balesetköltség-megtakarítás 2,6 millió Ft, az egy évre vonatkoztatott haszon/költség hányados pedig 1,7 – vagyis ezen intézkedéstípus 6-7 hónap alatt megtérül. Meg kell említeni ismét, hogy ezen intézkedés esetében is adódtak negatív példák: a forgalomtechnikai elemek kihelyezése után a balesetek száma nőtt (3. ábra). Az eloszlásgörbe szerint a helyszínek mintegy 45%-ában a haszon pozitív, mintegy 20%-ában negatív és a maradék 35%-ban nem történt változás.

Ha csak az előtte balesetes helyszíneket vizsgáljuk (21 szakasz), az átlagos balesetköltség-megtakarítás már 4,2 millió Ft/év, az egy évre vonatkoztatott haszon/költség hányados pedig 2,0. Ez hathónapos megtérülést jelent. Itt is vannak azonban a biztonság romlására utaló példák.

3.6. GYALOGÁTKELŐ SZIGET ÉPÍTÉSE

Ebből az intézkedésből 57-et találtunk a mintában, meglepő módon az átlagos balesetköltség-megtakarítás kismértékben negatívnak mutatkozott, ami azt jelenti, hogy e helyszíneken az utána időszakban több baleset történt (4. ábra). A minta nagysága alapján ez nem lehet véletlen jelenség. Tekintetbe kell viszont venni azt, hogy itt nem helyi mikrovizsgálatokat végeztünk, hanem nagyobb projektszámra vonatkozó statisztikai feldolgozást.



4. ábra: Az éves haszon/költség hányados megoszlása (gyalogátkelő sziget létesítése)

A statisztikában szereplő balesetek nem feltétlenül gyalogosbalesetek, hanem a létesített gyalogátkelőhely ± 100 m-es körzetében bekövetkezett összes baleset.

Ha csak az előtte balesetes helyszíneket vizsgáljuk (26 gyalogátkelő), az átlagos balesetköltség-megtakarítás már pozitív, 0,7 millió Ft/év, az egy évre vonatkoztatott haszon/költség hányados pedig 0,11. Itt is vannak azonban a biztonság romlására utaló példák.

3.7. JELZŐLÁMPA TELEPÍTÉSE

Az adatszolgáltatás 19 projektet tartalmazott, az átlagos balesetköltség-megtakarítás kb. 12 M Ft, az egy évre vonatkoztatott haszon/költség hányados 0,56, tehát ez az intézkedés egyértelműen pozitív és hatékony a forgalombiztonság szempontjából.

Ha csak az előtte balesetes helyszíneket vizsgáljuk (12 csomópont), az átlagos balesetköltség-megtakarítás már 18 M Ft/év, az egy évre vonatkoztatott haszon/költség hányados pedig 0,88. Ez egy évnél rövidebb megtérülést jelent.

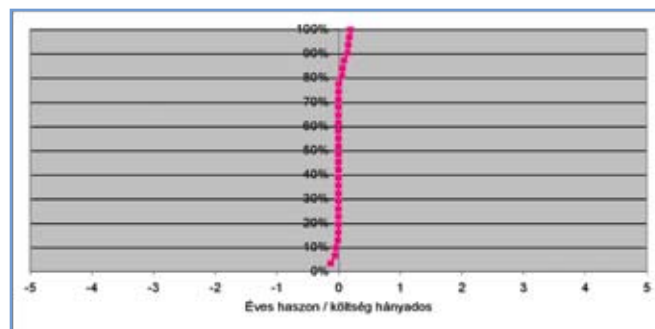
Itt is meg kell jegyezni azonban, hogy volt néhány eset, amikor a jelzőlámpa ± 100 m-es körzetében több baleset következett be utána, mint előtte.

3.8. KERÉKPÁRÚT-ÉPÍTÉS

Adataink 18 kerékpárút-építést tartalmaztak. Az országban ennél lényegesen több kerékpárút építése folyt, de a költségekről csak kevés esetben állt rendelkezésre információ. Ez az intézkedés is átlagosan kismértékű negatív hatással járt. Ugyanez mondható el az előtte állapotban balesetes szakaszok elemzéséről is. Megemlítendő, hogy nem feltétlenül a kerékpáros balesetek növekedtek, hanem valószínűleg a kerékpárok nélküli úton kialakuló nagyobb sebességek vezettek több balesethez. A kérdés mindenesetre további vizsgálatot igényel, hiszen jelentős kerékpárút-fejlesztések folynak és vannak előkészületben.

3.9. KÖRFORGALOM LÉTESÍTÉSE

Összesen 31 körforgalom adatait vizsgáltuk. A baleseti költség-megtakarítások átlaga 2 millió Ft. A vizsgált esetek több mint felében nem történt változás a balesetszámban, kilenc esetben pozitív, öt esetben pedig negatív változás tapasztalható (5. ábra). A körforgalmak biztonságjavító hatásáról elterjedt általános nézetet – amellyel a szerzők is egyetértenek – az adatok annyiban nem cáfolják, hogy itt nemcsak meglévő csomópontok körforgalmúvá átépítéséről van szó, hanem pl. új csomópontok létesítéséről is.



5. ábra: Az éves haszon/költség hányados megoszlása (körforgalom létesítése)

1. táblázat: Az összes beavatkozás hatékonysági sorrendje

A beavatkozás jellege	Helyszínek száma	Éves balesetiko- ltsé- megtakarítás	Egy éves haszon/ költség
Fák kivágása	19	12,45	59,77
Forgalomtech- nikai elemek	32	2,60	1,70
Jelzőlámpa telepítése	19	11,57	0,56
Forgalomcsilla- pító sziget	22	1,98	0,08
Csomópont (át)építése	46	1,92	0,05
Négysávos, különszintű	8	45,72	0,04
Körforgalmú csomópont	31	2,05	0,02
Útkorszerűsítés	18	2,54	0,01
Gyalogátkelő sziget	57	-0,83	-0,09
Kerékpárút- építés	18	-9,23	
Összesen	270	3,13	0,04

Ha csak az előtte balesetes helyszíneket vizsgáljuk (15 csomópont), az átlagos balesetiko-
ltsé-
megtakarítás már 4,7 millió Ft/év, az egy évre vonatkoztatott haszon/költség hányados pedig 0,03.

3.10. NÉGYSÁVOS KIÉPÍTÉS, KÜLÖNSZINTŰ CSOMÓPONT

Ilyen intézkedés viszonylag kevés volt a mintában, de többségükben jelentős pozitív hatása volt. Az átlagos éves balesetiko-
ltsé-
megtakarítás 46 millió Ft. Miután ezek az intézkedések igen költségesek, az egy évre vonatkoztatott haszon/költség hányados értéke csak 0,04. Egyes esetekben a baleseti helyzet romlott (pl. elválás nélküli négysávos kiépítés).

3.11. ÚTKORSZERŰSÍTÉSEK

Vizsgálatunkban 18 út korszerűsítési adatait dolgoztuk fel, az átlagos balesetiko-
ltsé-
megtakarítás 5,2 millió Ft/év. A pozitív irányú változások mellett itt is észlelhetőek romlások néhány esetben.

3.12. AZ EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A vizsgált összes beavatkozást sorba állítottuk az egységnyi költségre jutó éves balesetiko-
ltsé-
megtakarítás szerint (1. táblázat). Legkedvezőbbnek az útmenti fák kivágása, majd a kis költségű forgalomtechnikai intézkedések mutatkoztak. Jó helyezést ért el a jelzőlámpa telepítése is. Kiseb-
b megtérüléssel, de pozitív eredményeket mutatott a többi intézkedéscsoport, kivéve a gyalogátkelő szigetek és a kerékpárutak csoportja. Ezen váratlan jelenség további vizsgálatokat igényel

Ha a mintából elhagyjuk azokat a helyszíneket, ahol az előtte időszak három évében egy baleset sem történt, és megtartjuk a balesetes helyszíneket, akkor az egyes beavatkozástípusok biztonsági problémákat kezelő hatékonyságát kapjuk (2. táblázat).

2. táblázat: Az előtte állapotban balesetes helyszíneken végzett beavatkozások hatékonysági sorrendje

A beavatkozás jellege	Helyszínek száma	Éves balesetiko- ltsé- megtakarítás	Egy éves haszon/ költség
Fák kivágása	12	20,85	76,87
Forgalomtech- nikai elemek	21	4,25	2,05
Forgalomcsilla- pító sziget	10	13,11	1,61
Jelzőlámpa telepítése	12	18,48	0,88
Csomópont (át)építése	26	4,83	0,13
Gyalogátkelő sziget	26	0,67	0,11
Négysávos, különszintű	7	52,26	0,04
Körforgalmú csomópont	15	4,66	0,03
Útkorszerűsítés	10	6,42	0,01
Kerékpárút- építés	11	-14,18	
Összesen	150	7,85	0,06

Ebben az esetben a hatékonysági sorrend részben eltér az előzőektől. Továbbra is az útmenti fák kivágása és a kis költségű forgalomtechnikai beavatkozások vannak az első helyen, de egy éven belüli megtérülést mutatnak a forgalomcsillapító szigetek is. Ugyancsak előreléptek a gyalogátkelő szigetek is, és ilyen esetekben számottevő pozitív eredményt mutatnak fel.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a legtöbb beavatkozástípus többnyire pozitív hatással van a forgalombiztonságra. Ugyanakkor mindegyik beavatkozástípus esetén előfordul az, hogy az adott helyszínen a baleseti helyzet romlott. Az esetek mintegy 20-25%-ában a jó szándékú beavatkozás ellenére a balesetek száma nőtt az előtte állapothoz képest. Ez esetekben a ráfordítások – legalábbis baleseti szempontból – negatív eredményt hoztak. A részben a várakozással ellentétes eredményeknek több magyarázata is lehetséges.

- A nyilvántartás hibája. Ismeretese-
k a baleseti helyszín azonosításának problémái, ezeket a folyamatban lévő GPS-alapú azonosításra való áttérés fogja megoldani.
- A balesetek „ritkaságából” adódó statisztikai hiba. Bár az előtte-utána időszakban is három-három év adatait hasonlítottuk össze, az egy-egy helyszínrre jutó balesetek kis száma miatt további statisztikai szignifikancia-
vizsgálatok szükségesek.
- További magyarázat, hogy a kedvező útkialakítás csak lehetőség a biztonságra, de a közlekedő személyek döntéseit csak korlátozottan tudjuk befolyásolni.
- Ugyanakkor megemlítendő az is, hogy a vizsgált intézkedések egy része olyan helyen történt, ahol valamilyen új létesítmény épült, új út, új csomópont, új konfliktushelyzet keletkezett, ami a balesetek számának növekedéséhez vezetett.

A vizsgált 270 intézkedés összesen 880 millió Ft/év baleseti költség megtakarítását jelentette, átlagosan 0,04-es egy évre vonat-

kozott haszon/költség hányadossal. Ha csak az előtte balesetes helyszíneket vizsgáljuk (151 intézkedés), az összes balesetköltség-megtakarítás már 1180 millió Ft/év, az egy évre vonatkozott haszon/költség hányados pedig 0,06.

Megemlítendő, hogy ugyanebben az időszakban (2001 és 2005 között) az ország közútjain összesen 39-cel nőtt az egy évben meghalt személyek száma, 400-zal a súlyosan sérült személyeké, és majdnem 3000-rel a könnyebben sérült személyeké. Ehhez a romláshoz képest a vizsgált 279, ill. 151 projekt összes hatása feltétlenül pozitívnak értékelendő.

A minden intézkedéscsoportban előforduló negatív példák pedig azt jelzik, hogy különös gondot kell fordítani a tervezett és általában sikeresnek hitt beavatkozások részletes biztonsági vizsgálatára, közúti biztonsági auditjára. Ezen helyszínek vizsgálata egy további kutatás tárgya lehet.

5. HIVATKOZÁSOK

COWI Magyarország (2007): Módszertani útmutató közúti projektek költség-haszon elemzéséhez, Budapest, 65 p.

Elvik R. (2001): Improving road safety in Norway and Sweden: Analyzing the efficiency of policy priorities, Traffic Engineering and Control, January 2001

Elvik R. (2001): Cost-benefit analysis of road safety measures: applicability and controversies, Elsevier, Accident Analysis and Prevention, 33. pp. 9–17.

Elvik, R.; Vaa, T. (2004): The Handbook of Road Safety Measures, Elsevier, Amsterdam, 1078 p., ISBN 0-08-044091-6

ETSC (2003): European Transport Safety Council, Cost-effective EU transport safety measures, Brussels, 65 p., ISBN 90-76024-16-2

European Commission (2003): Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects, Brussels

Holló P. (1999): A közelmúlt közlekedésbiztonsági intézkedéseinek hatékonyságvizsgálata, Közúti és Mélyépítési Szemle, 1999/12, pp. 475–481.

Koren Cs., Makó E., Tóth-Szabó Zs., Borsos A., Hegyi P. (2007): Közúti biztonsági beavatkozások hatékonyságvizsgálati módszereinek kidolgozása, Széchenyi István Egyetem, Győr, 63 p.

ROSEBUD (2003): Screening of efficiency assessment experiences. Report "State of the art". Workpackage 1, 219 p. <http://partnet.vtt.fi/rosebud/>

ROSEBUD (2004/a): Barriers to the use of efficiency assessment tools in road safety policy. Workpackage 2, 81 p. <http://partnet.vtt.fi/rosebud/>

ROSEBUD (2004/b): The use of efficiency assessment tools: solutions to barriers, Workpackage 3, 117 p., <http://partnet.vtt.fi/rosebud/>

ROSEBUD (2005/a): Testing the efficiency assessment tools on selected road safety measures, Workpackage 4, 261 p., <http://partnet.vtt.fi/rosebud/>

ROSEBUD (2005/b): Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision-Making. Recommendations. Workpackage 5, 131 p. <http://partnet.vtt.fi/rosebud/>

SUMMARY

EFFECTIVENESS OF ROAD SAFETY MEASURES

The article summarises the results of a contract research which investigated the effectiveness of various road safety measures. Altogether 270 interventions were collected and grouped into 10 measure types. Annual accident cost savings and the annual cost/benefit ratios were calculated for various measure types. The highest benefit/cost ratios were found at cheap measures like cutting roadside trees, improving vertical and horizontal markings. Some of the measures were followed by increased accident costs. This problem will be analysed later.

KÉZIRATOK TARTALMI ÉS FORMAI KÖVETELMÉNYEI

Folyóiratunk általában eredeti cikkeket közöl, az ettől való eltérést külön jelöljük. Kérjük szerzőinket, a kézirat leadásakor nyilatkozzanak, hogy a cikket máshol nem jelentették meg és nem adták le közlésre. A cikkek javasolt terjedelme 4-8 nyomtatott oldal. Egy csak szöveget tartalmazó oldalon mintegy 6000 karakter fér el (szóközzel). A cikk terjedelmét a Word Fájll / Adatlap / Statisztika helyén ellenőrizhetik.

Kérjük tisztelt szerzőinket, hogy a megjelentetni kívánt cikkek kéziratát a következő formában készítsék el:

- a kézirat szövege önállóan, esetleges lábjegyzetekkel, ábra-, táblázat- és képhivatkozásokkal, a szöveg végén külön ábrajegyzékkel, *.rtf vagy *.doc formátumban,
- táblázatok és grafikonok külön-külön, *.doc vagy *.xls formátumban,
- ábrák, fényképek stb. külön-külön fájlban, nem a szövegbe beágyazva, *.xls *.tif, *.eps vagy *.jpg (300 dpi felbontással!) formátumban.

Az azonosíthatóság és kezelhetőség érdekében valamennyi táblázat, grafikon, ábra, fénykép sorszámmal és címmel legyen ellátva.

Kérjük, hogy a cikkhez egy 40-80 szó terjedelmű angol nyelvű kivonatot mellékelni szíveskedjenek!

Kérjük, hogy valamennyi szerző elérhetőségét (munkahely, postacím, telefon, fax, e-mail) tüntessék fel!

A kéziratokat e-mailen, vagy szükség esetén CD-n a felelős szerkesztő címére kérjük küldeni.

(szerk.)

A MOHÓ HALMAZLEFOGÁSI HEURISZTIKA ALKALMAZÁSA AZ ELEKTRONIKUS DÚSZEDÉSI RENDSZER TERVEZÉSÉHEZ

DR. KÁLMÁN LÁSZLÓ¹ – PUSZTAI PÁL²

1. A FELADAT ISMERTETÉSE

Egy adott úthálózat forgalmát ellenőrző rendszer tervezését segítő, az alábbi kérdésekre szerettünk volna választ kapni.

- Legkevesebb hány helyen és hol ellenőrizzük a közúti áramlatokat ahhoz, hogy az összes áramlatot, vagy annak egy adott százalékát biztosan ellenőrizzük?
- Adott ellenőrzési pontokkal az áramlatok hány százaléka ellenőrizhető?

Cikkünkben definiáljuk a fenti kérdések megválaszolásához szükséges alapfogalmakat és adatokat, bemutatunk egy algoritmust és az algoritmus implementálásával kapott eredményeket egy olyan úthálózatban, amely kb. 11 ezer pontot, 3500 forrás–nyelő pontot és 26 ezer élt tartalmaz.

Ahhoz, hogy az előzőleg feltett kérdésekre válaszolni tudjunk, sajnos nem elég az, hogy ismerjük az úthálózat élein megjelenő forgalmi terheléseket. A többszörös ellenőrzések kivédéséhez azt is tudnunk kell, hogy az egyes éleken áthaladó forgalmak milyen utazásokból tevődtek össze. Szükségünk van tehát egy olyan modellre, amellyel az adott úthálózat forgalma kiszámolható, közelíthető.

A közlekedéstervezésben használt *ráterhelési eljárások* célforgalmi utazási igényeket leíró *áramlási mátrixokat* (pl. jármű-kategóriánként egy mátrix) terhelnek rá az úthálózatra, valamilyen útvonalválasztási stratégiát követve. Az eljárás pontossága, valóságúsága az alkalmazott mátrixok helyességétől és az útvonalválasztás mikéntjétől függ.

Ha az úthálózat élein előálló forgalmakat ráterhelési eljárással határozzuk meg, akkor minden élre visszakereshetők lesznek azok a viszonylatok, amelyek az adott él forgalmában szerepet játszanak. Az áramlatok (helyváltoztatások, utazások) ellenőrzéséhez szükséges élek kiválasztásának problémája két részre bontható. Az első rész feladata az élek forgalmának meghatározása, a ráterhelés megvalósítása, a másik rész feladata a ráterhelési eredmények alapján az ellenőrzési élek optimális kiválasztása.

A ráterhelési eljárás eredményét tekinthetjük az úthálózat forrás–nyelő pontjai közötti utak összességéként is, ahol minden utat a megfelelő áramlási mátrix elemmel súlyozunk. Ekkor az élek kiválasztása a következő módon definiálható: *Input*: súlyozott utak egy gráfban; *Output*: az élek egy olyan minimális számosságú L halmaza, amelyre minden út legalább egy L -beli élt tartalmaz, ill. azon utak súlyainak összege legyen maximális, amely utaknak legalább egy éle L -beli.

Az áramlási mátrixok elemei valójában adott időszakra vonatkozó jármű-helyváltoztatási darabszámok, így helyettük elképzelhetjük a hálózaton utazó járművek X halmazát is, amelyet ellenőrizni (lefedni) szeretnénk. A ráterhelés eredményét ekkor tekinthetjük úgy is, mint az egyes éleken áthaladó járművek halmazait. Ekkor az élek kiválasztása a következő módon definiálható: *Input*: az egyes éleken áthaladó járművek halmazainak F összessége; *Output*: olyan minimális számú eleme F -nek, amelyek egyesítése minden X -beli elemet tartalmaz, ill. a lehető legtöbb X -beli elemet tartalmazza.

Ez a kétfajta megközelítés nem csak formális kapcsolat, de lehetővé teszi a halmazlefogási algoritmusok használatát is az élkiválasztási problémánk megoldására.

2. A HALMAZLEFOGÁSI PROBLÉMA

A halmazlefogási feladat egy széleskörűen kutatott optimalizációs probléma, egyike azon problémáknak, amelyek közelítő algoritmusait elsőként kezdték vizsgálni. Az NP-néhéző feladatok kezelésének általános módja olyan közelítő algoritmusok használata, amelyek már polinomiális futási idejűek és az optimális megoldást is jól közelítik. Természetesen az ilyen közelítő megoldások esetén szükséges az eredmény „jószágának” igazolása. Így történt ez a halmazlefogási problémával is. A teljesség igénye nélkül megemlítenénk néhány munkát erre vonatkozóan. Johnson [1] és Lovász [2] voltak az elsők, akik megmutatták, hogy a mohó algoritmus aránykorlátja $H(d) = \sum 1/i$, $i=1, 2, \dots, d$, ahol d a legnagyobb részhalmaz számossága. Ez azt jelenti, hogy a mohó algoritmus által kapott megoldás (a kiválasztott részhalmazok száma) az optimális megoldás (részhalmazai számának) legfeljebb $H(d)$ -szerese. Chvátal [3] kiterjesztette ezt az eredményt a súlyozott halmazlefogási feladatra, amikor is az egyes részhalmazok kiválasztásához költségeket rendelhetünk. Mivel $H(d) \leq 1 + \ln d$, így a felső korlát $1 + \ln n$, ahol n a lefedendő halmaz számossága. Lund és Yannakakis [4] megmutatták a $(\log_2 n)/2 \approx 0.72 \ln n$ aránykorlátban belüli közelítések nehézségét, Feige [5] pedig azt, hogy $(1 - o(1)) \ln n$ az a küszöb, amelyen belül a halmazlefogás nem közelíthető hatékonyan. A max k lefogási problémára vonatkozóan a mohó algoritmus közelítő aránya $1 - (1 - 1/k)^k \geq 1 - 1/e \approx 0,632$, ami azt jelenti, hogy az algoritmus lefedti az optimális megoldás által lefedett elemek legalább ennyiszerezését [6]. Feige [5] megmutatta, hogy tetszőleges $\epsilon > 0$ esetén, a max k lefogási probléma nem közelíthető polinomiális időben az $1 - 1/e + \epsilon$ arányon belül, kivéve, ha $P=NP$. Ezek az eredmények általánosan igazolják a mohó algoritmus eredményességét a halmazlefogási és a max k lefogási feladatokkal kapcsolatban.

¹ Okleveles építőmérnök, okleveles építőipari gazdasági mérnök, egyetemi adjunktus, Széchenyi István Egyetem Közlekedésepítési és Településmérnöki Tanszék, e-mail: kalman@bauconsult.hu

² Okleveles programozó és programtervező matematikus, egyetemi adjunktus, Széchenyi István Egyetem Matematika és Számítástudomány Tanszék, e-mail: pusztai@sze.hu

3. AZ ELLENŐRZÉSI ÉLEK KIVÁLASZTÁSA

Az algoritmus mohó alap gondolata a következő: minden egyes ellenőrzőhely azon az élen legyen, amelyen a legtöbb áramlat (maximális forgalom) halad át úgy, hogy az előzőleg már kiválasztott éleken ellenőrzött áramlatokat nem vesszük figyelembe. Azaz az első ellenőrző él az legyen, amelyiken a legnagyobb áramlat halad át, majd ezeket az áramlatokat „vegyük le” a hálózatról, majd ismételjük meg ezt a két lépést mindaddig, amíg a kiválasztott élekkel ellenőrzött áramlatok az összes áramlat egy adott százalékát el nem érik.

Az egyszerűség és a könnyebb érthetőség végett az algoritmus megadásakor egy célforgalmi mátrixot és minden viszonylatban csak egy minimális utat fogunk használni.

MEGJEGYZÉSEK

- A gyakorlati alkalmazás [10] során több mátrixot, több lépcsőben, forgalomfüggő ellenállásfüggvényekkel, viszonylatonként több minimális úttal, és az ezek közötti megosztó-függvény alkalmazásával terheltünk az úthálózati gráfra. Az ellenőrzési élek kiválasztásához a minimális utakat a valóságnak megfelelően terhelt úthálózaton kerestük.
- A minimális útkereső algoritmusok bizonyos él és csomóponti jellemzők (pl. hossz, idő, költség) alapján választják ki a k -edik legkisebb ellenállású útvonalakat.

Az algoritmus egyszerűbb bemutatásához tegyük fel tehát az alábbiakat:

- Az úthálózat n db forrás–nyelő (koncentrált utazásvégződési, O/D) pontot tartalmaz.
- A forrás–nyelő pontok közötti, az úthálózatra „ráterhelendő” utazási igényt egyetlen áramlási mátrixszal írjuk le:

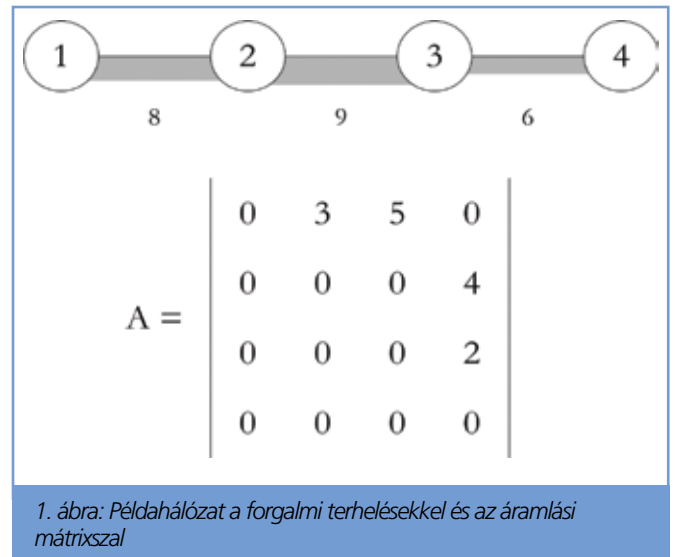
$$A=[a_{ij}], \quad i, j=1, 2, \dots, n,$$
 ahol a_{ij} az i . pontból a j . pontba irányuló, időegység alatti helyváltoztatások számát adja meg.
- A hálózat tetszőleges két forrás–nyelő pontja között meg tudjuk határozni azt az ún. minimális utat, amely adott szempontok szerint számított legkisebb ellenállású útvonal a két pont viszonylatában.
- A *ráterhelés*: minden kezdőpont–végpont (i – j) viszonylatra határozzuk meg a viszonylathoz tartozó minimális utat és „tegyük rá” az út éleire az áramlási mátrix megfelelő elemét (a_{ij}), azaz növeljük meg az érintett élek terheléseit ennyivel.

ALGORITMUS 1

1. Határozzuk meg minden viszonylatra a viszonylathoz tartozó minimális utat!
2. Terheljük rá az áramlási mátrixot (A) az üres hálózatra!
3. Válasszuk ki azt az élt, amelyen maximális a forgalom és töröljük azon mátrixelemeket (a_{ij} legyen 0), amelyek minimális útjában (az i – j viszonylathoz tartozó minimális útban) szerepel ez az él (hiszen ezeket a kiválasztott élen ellenőrizzük)!
4. Ha szükséges (pl. a módosult áramlási mátrix elemeinek összege az eredeti mátrixhoz képest még nem csökkent egy adott százalékkal), folytassuk az eljárást a módosított mátrixszal a 2. ponttól!

Sajnos, ez a mohó algoritmus nem garantál optimális megoldást. Az 1. ábra egyszerű példahálózatán a mohó választás először a 2-3 élt választja (9 forgalom), majd az 1-2 élt (8-5=3 forgalom), de ezzel a két éllel nem ellenőrizhető a teljes forgalom. Ezzel szemben az optimális megoldás (az 1-2 és 3-4 élek) két éllel lefedi, ellenőrzi a teljes áramlási mátrixot.

A példa jól szemlélteti azt is, hogy egy él kiválasztása befolyásolja a további választásokat, ezért nem mindegy, hogy az éleket milyen



sorrendben választjuk ki. Az élek különböző kiválasztási sorrendje azonban az élek számának faktoriálisával egyező számú, így az optimumot meghatározó algoritmusnak is ennyi esettel kell valahogyan megbirkóznia. Az optimális megoldást az algoritmusunk tehát csak közelíti, kérdés, milyen hatékonyan.

Az algoritmus $O(n^4)$ műveletigénnyel jellemezhető, ahol n a hálózat pontjainak számát jelöli, hiszen a minimális utak meghatározása (1. lépés) $O(n^3)$, a ráterhelés (2. lépés) $O(n^3)$, az élkiválasztás (3. lépés) $O(n)$, az érintett mátrixelemek törlése (3. lépés) $O(n^3)$, műveletigényűek. A 2. és 3. lépést legfeljebb annyiszor hajtjuk végre, mint ahány éle van a hálózatnak (amit a pontok számának egy kis konstansszorosra felülről korlátoz), így kapjuk az $O(n^4)$, műveletigényt. Több mátrix és egy viszonylatban több minimális út használatával természetesen megnő az algoritmus futási ideje és memóriaigénye, de ez nem változtat az $O(n^4)$ aszimptotikus nagyságrenden (hiszen a „több” most n -től független, konstans darabszámot jelent).

Ha az áramlatok 100%-át (azaz az összes helyváltoztatást) ellenőrizni szeretnénk, akkor a halmazlefogási problémát kapjuk, kisebb arányú ellenőrzés esetén pedig a max k lefogási problémát, algoritmusunk pedig éppen a mohó halmazlefogási algoritmust valószínűsíti meg, így azok bizonyított aránykorlátjai a mi algoritmusunkra is érvényesek.

A gyakorlati feladatunkban az áramlási mátrix elemeinek összege kb. $3 \cdot 10^6$ járműdarab/nap, ami kb. $6 \cdot 10^4$ járműdarab/nap forgalmat jelent a legforgalmasabb élen, így az aránykorlát 12. Ez azt jelenti, hogy az áramlatok teljes ellenőrzéséhez, az algoritmusunk által kiválasztott élek száma az optimális megoldás élei számának legfeljebb 12-szerese, ami elég nagy. A teljes áramlat ellenőrzése azonban a gyakorlatban általában nem szükséges. A max k lefogási probléma aránykorlátja $1-1/e \approx 0,632$, ami azt jelenti, hogy az algoritmusunk által kiválasztott élekkel ellenőrizni tudjuk az optimális megoldás által ellenőrzött áramlat legalább ennyiszerezését, ami jobb mutatót ad.

Ezen általánosan bizonyított mutatók mellett szerettük volna mi is megvizsgálni az algoritmusunkat, ezért egy 10 pontos teszhálózaton, véletlenszerűen generált adatokkal összevetettük az algoritmusunk által kapott megoldásokat az optimális megoldásokkal. Olyan eseteket vizsgáltunk, amelyekben az áramlási mátrix elemeit és a minimális utak alapjául szolgáló élidőket változtatva, a ráterhelés eredményeként 10 darab terhelt élt kaptunk. Azért csak

1. táblázat: Az ellenőrzésre kiválasztott élek listájának eleje

Út	Kezdpont	K. Település	K. Szelvény	Végpont	V. Település	V. Szelvény	Lefedettség [%]
M0	3707	M0-M6-NAGYTÉTÉNY	11+234	3708	M0-6-DUNAPART_UTCA	13+794	2.620
M0	3708	M0-6-DUNAPART_UTCA	13+794	3707	M0-M6-NAGYTÉTÉNY	11+234	5.090
M3	4167	M3-2104-GÖDÖLLŐ	27+080	4168		25+596	7.485
M3	12368	M3-M31	24+500	4168		25+596	9.878
M1	3680	M1-1-BIATORBÁGY	17+850	3686	M0-M1	15+642	11.517
M1	3667	M1-SASFÉSZEK	21+500	3666	M1-1101-ZSÁMBÉK	26+110	13.031
M0	4116	M0-2102-FÓT	69+701	4104	M0-M3	67+900	14.288
M0	4104	M0-M3	67+900	4116	M0-2102-FÓT	69+701	15.540
M7	3703	M0-M7	15+540	30501	M7-8103-ÉRD	17+598	16.739
M7	30501	M7-8103-ÉRD	17+598	3703	M0-M7	15+540	17.931
M5	7373	M5-5-KECSKEMÉT_ÉSZAK	73+500	7375	M5-M8	70+463	18.849
M5	3894	M5-4603-ÓCSA	30+129	9046		30+329	19.733
4	5744		280+210	5745		280+468	20.536
4	5745		280+468	5744		280+210	21.339
83	30028		72+402	41730		72+236	22.092
83	41730		72+236	30028		72+402	22.845
M7	946	M7-71-BALATONALIGA	89+974	12057		88+772	23.562
M7	12057		88+772	946	M7-71-BALATONALIGA	89+974	24.277
M3	12282	M3-3305-MEZÖNAGYMIH.	137+868	12281	M3-3302-MEZÖKÖVESD	127+378	24.989
M3	12281	M3-3302-MEZÖKÖVESD	127+378	12282	M3-3305-MEZÖNAGYMIH.	137+868	25.698
6	3150	PÉCS	196+725	30432		197+145	26.368
6	30432		197+145	3150	PÉCS	196+725	27.038
M1	90	M1-19-GYÖR_KELET	106+626	99	M1-8152-GÖNYÜ	100+518	27.639
M4	12462	M0-4	0+000	12463	M4-4-4603-ÜLLŐ_KELET	3+491	28.221
M1	99	M1-8152-GÖNYÜ	100+518	90	M1-19-GYÖR_KELET	106+626	28.801
M4	12463	M4-4-4603-ÜLLŐ_KELET	3+491	12462	M0-4	0+000	29.346
M6	12186	M6-6219-DUNAUJVÁROSD	68+976	12189	M6-M8	73+863	29.867
M6	12189	M6-M8	73+863	12186	M6-6219-DUNAUJVÁROSD	68+976	30.383
25	4758		12+963	4759	EGER	13+726	30.896
25	4759	EGER	13+726	4758		12+963	31.405

ennyit, mert így esetenként csak $10! \approx 3 \cdot 10^6$ élsorrendet kellett megvizsgálni, amely egy átlagos PC-n kb. 1 percet vett igénybe, de pl. 20 terhelés esetén ez a szám már kb. $2 \cdot 10^{18}$, és vajon mekkora lehet 26 ezer terhelés esetén? A teszt során 100-100 esetet vizsgáltunk meg 50%, ill. 100% ellenőrzési arány mellett. Az előbbinél minden esetben, az utóbbiban egy kivétellel (ahol is egy él eltérés volt) minden esetben megkaptuk az optimumot.

4. ADOTT ÉLEKKEL TÖRTÉNŐ ELLENŐRZÉS HATÉKONYSÁGA

Annak a kérdésnek – nevezetesen, hogy adott ellenőrzési élekkel a teljes áramlat hány százaléka ellenőrizhető – a megválaszolása az előzőnél egyszerűbb algoritmussal történhet, hiszen nincs szükség ráterhelésre.

ALGORITMUS 2

1. Határozzuk meg minden viszonylatra a viszonylathoz tartozó minimális utat!
2. Minden olyan élre, amelyen ellenőrzés történik, végezzük el az érintett mátrixelemek törlését (lásd: előző algoritmus 3. lépés).

Az algoritmus végén előáll az áramlási mátrix és az eredeti, kiindulási áramlási mátrix összevetésével megkapható az ellenőrzött áramlat pontos aránya. Ha x jelöli az eredeti áramlási mátrix elemeinek összegét, és y az algoritmus végén előálló, módosított áramlási mátrix elemeinek összegét, akkor a $100(1-y/x)$ képlet adja a teljes áramlatnak a megadott ellenőrzési élekkel ellenőrzött arányát.

Az ellenőrző rendszer tervezésekor nem kell feltétlenül figyelembe vennünk a hálózat összes élet. Lehet olyan gyakorlati igény is, miszerint ellenőrizni csak előre megadott, nagyobb forgalmú éleken (pl. autópályákon, főutakon) szeretnénk. Ennek figyelembevételéhez jelöljük meg azokat az éleket, amelyek bevonhatók az ellenőrzésbe, majd az algoritmus 3. és 4. lépését végezzük az alábbiak szerint:

3. Válasszuk ki a megjelölt élek közül azt, amelyiken maximális a forgalom, majd az érintett mátrixelemek törlését végezzük el változatlan módon!
4. Ha szükséges és van még megjelölt, de még ki nem választott él, akkor folytassuk az eljárást a módosított mátrixszal a 2. ponttól!

MEGJEGYZÉSEK:

- Ezzel a módosítással olyan esetek is kezelhetők, amikor bizonyos éleken nem lehet, vagy nem érdemes ellenőrizni.
- Noha a gyakorlati alkalmazás során ritkán fordul elő, de ha a kiválasztott él forgalma 0, akkor az algoritmus befejezhető, hiszen az ellenőrzött járműforgalom további élek bevonásával már nem növelhető.

5. HASZNOSÍTÁS

Ha az úthálózat mérete megengedi, akkor célszerű a minimális utak keresését a Floyd-Warshall módszerrel [7] végezni, mert így az összes viszonylat minimális útja megkapható és használható az algoritmus során (2. és 3. lépés).

2. táblázat: Az ellenőrzött arány és a szükséges élek száma

Ellenőrzött arány	Élek száma
10%	5
20%	13
30%	28
40%	51
50%	84
60%	134
70%	214
80%	352
90%	673

Az algoritmus implementálását egy saját fejlesztésű közlekedéstervezői programrendszerben [8] végeztük. A minimális utak keresése a Floyd–Warshall módszerhez képest lényegesen kisebb memóriai igényű, az általános faépítő algoritmuson alapuló, módosított eljárással [9] történik, amellyel lehetővé vált nagy (országos méretű) hálózatok modellezhetősége is. A faépítő módszerek csak egy adott pontból kiinduló minimális utak előállítására alkalmasak, ezért a minimális utak meghatározása (1. lépés) nem kerülhet ki az algoritmus iterációjából (2–4. lépés).

Ha az algoritmus során forgalmak helyett pl. a viszonylat (reláció) forgalmi teljesítményével (reláció érték szorozva az úthosszal) dol-

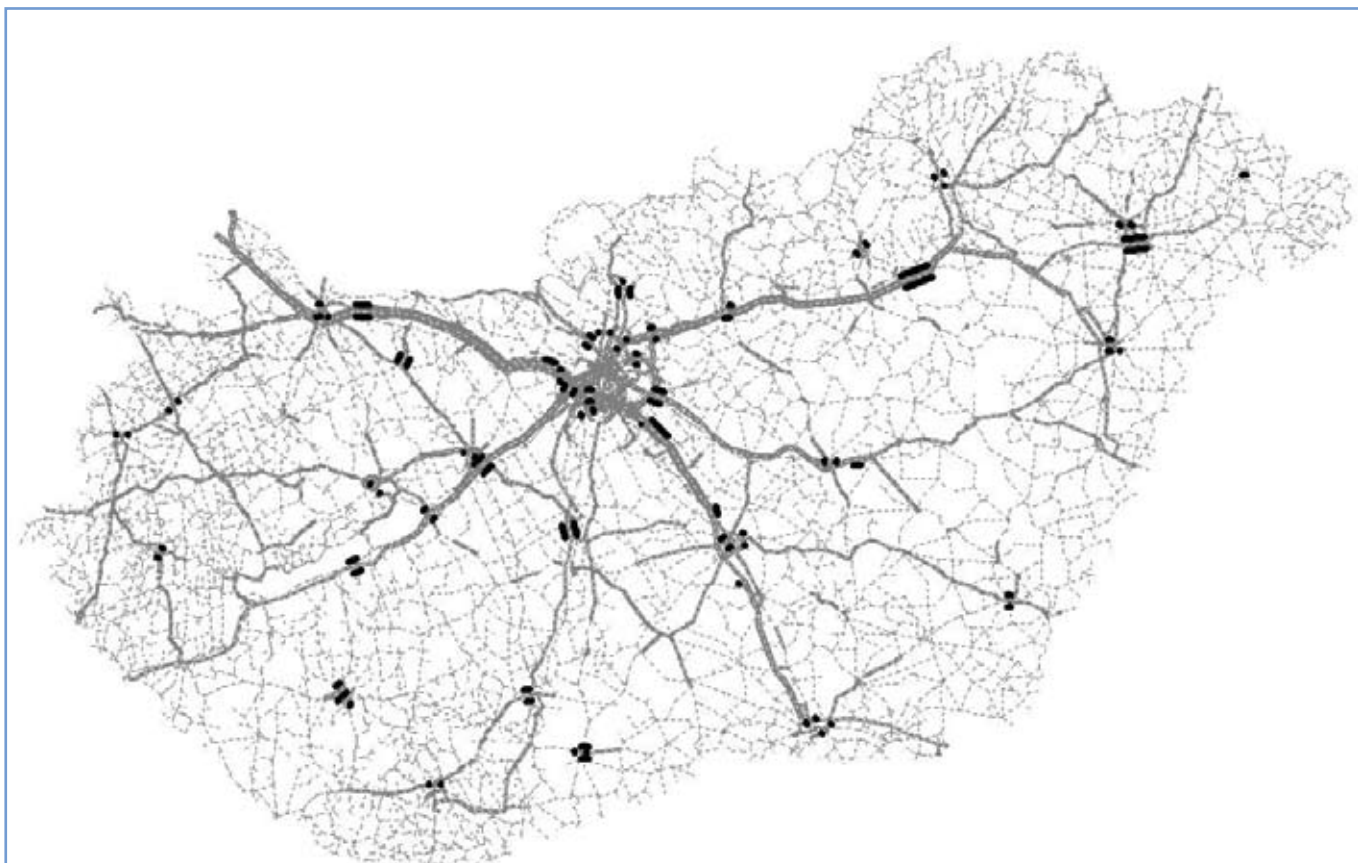
gozunk (ezt terheljük rá az élekre, és ez alapján választunk élt), akkor a nagyobb távolságot megtevő járművek ellenőrzését helyezük előtérbe. Az ábrákat és táblázatokat mi is így készítettük el.

Az ellenőrző rendszer tervezett országos kiterjedése miatt a vizsgált úthálózat is országos méretű volt, kb. 11 ezer pontot, 3500 forrás–nyelő pontot és 26 ezer élt tartalmazott. Az algoritmus által kapott eredményekről az 1. és 2. táblázat, valamint a 2. ábra tájékoztat.

Tekintettel a hálózat méretére, az algoritmus során egy mátrixot (személygépjárművek) és minden viszonylatban csak egy minimális utat használtunk. A minimális utakat költségben kerestük olyan terhelt hálózaton, amelyre előzőleg három egyéb járműfajta (különböző tehergépjárművek) tartozó mátrixot terhelünk. Egy él kiválasztása egy átlagos PC-n kb. 2,5 percet vett igénybe, azaz az első 800 darab él kiválasztása mintegy 33 órán keresztül futott. Az úthálózat éleinek szürke színű vastagítása (2. ábra) az utak forgalmi terhelésének nagyságával arányos, a fekete kiemelések az ellenőrzésre kiválasztott élek helyét jelölik.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Egy adott úthálózat forgalmát ellenőrizendő, olyan lehető legkevesebb ellenőrzőhely kiválasztása volt a feladatunk, amelyeken az áramlatok minél nagyobb hányada halad át. A feladat egy optimalizációs probléma, amelynek bemenő adatait a ráterhelési eljárások adják. Az optimális megoldást egy mohó algoritmussal közelítettük, amely a gyakorlatban jól használható. Az algoritmus alkalmazásával kapott eredményeket az országos úthálózaton a [10] tanulmány alapján mutattuk be.



2. ábra: Az ellenőrzésre kiválasztott első száz él kiemelése az úthálózaton

A jövőbeni kutatások szempontjából az alábbi kérdések merülnek fel:

- Ez a speciális halmazlefedési probléma is NP-nehéz?
- Adható-e jobb aránykorlát erre az algoritmusra, mint a halmazlefedési mohó algoritmus aránykorlátja?
- Milyen más megoldás (pl. Branch and Bound) adható az optimális megoldás előállítására?
- Hogyan változnak meg az eredmények, ha több mátrixot, ill. viszonylatonként több minimális utat használunk a ráterhelés során?

7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] D. B. Johnson: Approximation algorithms for combinatorial problems, *Journal of Computer and System Sciences*, 9, 1974, pp. 256–278.
- [2] L., Lovász: On the ratio of optimal integral and fractional covers, *Discrete Mathematics*, 13, 1975, pp. 383–390.
- [3] V. Chvátal: A greedy heuristic for the set-covering problem, *Mathematics of Operations Research*, 4, (3), 1979, pp. 233–235.
- [4] C. Lund, M. Yannakakis: On the hardness of approximating minimization problems, *Journal of the ACM*, 41, (5), 1994, pp. 960–981.
- [5] U. Feige: A threshold of $\ln n$ approximating set cover, *Journal of the ACM*, 45, (4), 1998, pp. 634–652.
- [6] D. Hochbaum (Ed.): *Approximation Algorithms for NP-hard Problems*, PWS Publishing Company, Boston, Mass., 1997, pp. 135–139.
- [7] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest: *Algoritmusok*, Műszaki Könyvkiadó, 1997, pp. 484–487.

[8] L., Marton, P., Pusztai: On modelling and computing traffic assignment, *Proc. of EURO XVII, 17th European Conference on Operational Research*, Budapest, Hungary, July 16–19, 2000, pp. 114.

[9] Marton L.: Egy címkéző eljárás a legrövidebb utak fájának meghatározására ritka hálózatokban, *Alkalmazott Matematikai Lapok*, 19, 1999, pp. 115–132.

[10] Kálmán L.: Forgalmi előrebecslések és díjbevételei prognózisok az ED bevezetésének előkészítéséhez 2009–2018, Bauconsult Mérnökiroda Kft., Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ, 2008.

SUMMARY

AN APPLICATION OF THE GREEDY HEURISTIC OF SET COVER TO TRAFFIC CHECKS

A greedy algorithm was defined and implemented to support the planning of a checking system that is aimed to check the vehicles in a road network. We would like to answer the following questions.

- How many and which links are sufficient to check a given percentage of all traffic flow?
- What percentage of all traffic flow can be checked with given links?

This paper defines the necessary data and basic knowledge, gives algorithms to answer the previous questions and also shows the results of an implementation in a road network that contains about 11,000 junctions, 3,500 origin-destination junctions and 26,000 links.

SÍNMARÁS – AZ ÚJ SÍNPROFILOZÁSI TECHNOLÓGIA

MILLING – THE NEW DIMENSION OF RAIL-PROFILING HANS-PETER BARTMANN EUROPEAN RAILWAY REVIEW ISSUE 3., 2008., PP. 92–97.

A sínmarási eljárást 1995 óta használják Európában a vasúttársaságok. Az osztrák Linsinger Maschinenbau GmbH által gyártott Rail Milling Train SF 03 FFS sínmaró vonatot 2003-ban rendszeresítették a Német Szövetségi Vasutaknál, valamint a német vasútépitési, -fenntartási piacra is bevonult. A sínmarási technológia páratlan és egyedülálló lehetőséget biztosít, nagyvasutakhoz és főleg Ázsiában városi vasutakhoz is használják.

A cég gépei integrálva biztosítják a sínmarást és a síncsiszolást, amellyel igazoltan költséghatékony munkát lehet végezni. A külső hőmérséklettől független eljárás a sín kereszt- és hosszirányú hibáinak javítására is alkalmas, amelyeket nagy precizitással hajt végre. A különböző váltóalkatrészek, rezgésállapító, -elnyelő berendezések stb. eltávolítása nélküli munkavégzés lehetséges a használatával.

A technológia környezetbarát, mivel sem port, sem egyéb csiszolási fémreszeléket nem hagy maga után, miközben a csiszolási szikrákat is közvetlenül maga fogja fel. Egész évben alkalmazható eljárás, és nincs semmiféle korlátozás a munkavégzésnél. A „száraz technológiának” köszönhetően nem szükséges hozzá hűtés.

A futófelületről 0,1–3 mm-es, a sínfej oldaláról akár 5–8 mm-es határok közötti fémlémunkálásra képesek a gépek, így a munkavégzés 300–1200 méteres óránkénti sebességet is elérhet, miközben csökkentett zaj- és rezgés hatás éri a környezetet. A sínprofilozás után 3–5 μm -es felületi érdesség alakul ki.

A gépek használatával az európai vasúttársaságoknak különböző tapasztalataik vannak. A Linsinger sínmarási-síncsiszolási eljárással 0,2 mm-es mérettűréseken belüli munkát tudtak végezni. Az ígért 3–5 μm -es felületi érdességet minden esetben biztosítani lehetett. A reszelék speciális dobozba gyűjtésével az utólagos tisztítási munkákat el tudták kerülni. Az ilyen típusú sínprofilozási munka alkalmazásával jóval hosszabb lesz a fenntartási ciklus, és a következő sínprofilozási munkálat is könnyebbé válik. Az összeintegrált sínmaró-síncsiszoló berendezésekkel jelentős költségmegtakarítást értek el, arról nem is beszélve, hogy a sínprofilozás után a gördülőzaj nagymértékben csökkent. Ezzel egyrészt az utazási komfortot lehet javítani, ugyanakkor a kerék-sín pontosabb felületi érintkezése által biztonságosabb futási tulajdonságokat lehet garantálni.

F. Sz.

CÉL ÉS TOPORGÁS¹

MOLNÁR LÁSZLÓ AURÉL²

EGY KIS TÖRTÉNELEM

1990-ben, a történelmi átalakulás pillanatában a közutas szakmát is eltöltötte az újrakezdés lelkesedése. A felzárkózás Nyugat-Európaéhoz igény is, szándék is volt, egyértelműen ez volt A CÉL. De hogyan érhető ez el? Megalapozásként helyzetfelmérések és programok egész sora készült. Legjellemzőbb tán az a program volt, hogy tíz év alatt, 2000-re érjük el Nyugat-Európa 1990-es színvonalát.

2004 újabb sorsfordító esztendő volt: Magyarország az Európai Unió tagja lett. De a közutak tekintetében a cél változatlanul a felzárkózás maradt, csak az eszközök változtak. Mi teljesült a célokból? Milyen eredményt hoztak az újabb eszközök? Ideje választ adni ezekre a kérdésekre, ideje számvetést készíteni.

Az utoléréshez nyilván fejleszteni kellett. Kérdés, hogy az adott pillanatban, az adott körülmények között éppen mit és hogyan? Az első, reflex-szerű válasz szerint a tárgyi és építményi feltételeket: új és régi útszakaszokat, üzemi létesítményeket, gépeket stb. Emellett természetesen a személyi feltételeket is. De túl ezen, fejleszteni kellett a műszaki színvonalat, a műszaki szabályozást, a jogi hátteret is. Más megközelítésben, az úthálózatot, a fenntartás és az üzemeltetés színvonalát.

A fejlesztés céljai és feladatai természetesen a napi közlekedési problémák megoldására, a pillanatnyi igények kielégítésére fókuszáltak. De kissé távlatosabban nézve: a közlekedés teljes hálózatának és technológiájának fejlesztése volt a feladat az ország térszerkezete korszerűsítése céljából. A közlekedés egészét kellett korszerűsíteni a gazdaság és a társadalom egészséges fejlődésének, a lemaradások pótlásának előfeltételeként.

A napi közlekedési problémák megoldása érthetően mindenkor a költségvetési és pénzügyi politika függvénye. Ezekre a problémákra azonban olyan megoldásokat kell(ene) kidolgozni, hogy azok illeszkedjenek a távlatos fejlesztési célokhoz.

Részletezve a fejlesztési területeket, lássuk elsőként az úthálózatot! Túltekintve a napi forgalmi problémákon, nyilván olyan hálózatra van szükség, ami nem csak közlekedési szempontból korszerű, hanem elősegíti a térszerkezet kiegyensúlyozását is a fejlett társadalom igényei szerint. Vajon az elmúlt húsz évben készült tervek és fejlesztések mennyiben feleltek meg ennek a kívánalomnak?

Az említett tízéves felzárkózási program még nem erre összpontosított. Hálózatfejlesztési terveink ugyan már évtizedek óta rendre kritizálják a túlzottan centrális szerkezetet, de 1990-re csupán addig jutottunk, hogy célként a gyűrűs-sugaras szerkezetet jelöltük meg. A szerkezeti koncepcióról élénk viták zajlottak, de miután érdemi fejlesztésre, új elemek kiépítésére még nem került sor, a viták elméleti síkon maradtak. Emlékezetes kezdeményezés volt a Déli Autópálya gondolata, de eszmeként sokkal több újat hozott a Fleischer Tamás által megfogalmazott „boríték-ábra”.

Ez a gondolat ösztönözte talán legeredményesebben az ország közepén, Budapesttől délre kialakítandó nagy átkötést a nyugati és keleti országrész között. Székesfehérvár és Kecskemét között így épült meg mára a Dunán a Pentele híd Dunaújváros térségében. Mindenesetre nagy eredménynek tekinthetjük, hogy az Országos Területrendezési Terv befogadott és törvényerőre emelt egy olyan gyorsforgalmi úti hálózatot, ami ugyan még sok ponton emlékeztet a régi koncepciókra, de már alkalmas egy sokkötőpontú, kiegyensúlyozott térszerkezet közlekedési kiszolgálására.

A korszerű és valós igény ugyanis éppen ez. Magyarország fővárosának, Budapestnek az élet minden területén, a lakosság számában, a hatalom és igazgatás intézményeiben, információban, az ipari és kereskedelmi teljesítményben, pénzügyekben, kultúrában stb. olyan túlsúlya van, amivel nemcsak hogy agyonnyomja a vidéki Magyarországot, de már régen maga is fuldoklik benne. Ennek egyik fő oka pedig éppen a megfelelő infrastruktúra hiánya, vidéken és a fővárosban egyaránt. Korábban ezt leginkább talán a telefonhálózat testesítette meg, mára azonban a fizikai elérhetőség, a közúthálózat minősége a legsúlyosabb hátrány. Olyan sokkötőpontú térszerkezetre van szükség, amin belül minden város és kistérség könnyen elérhető, tehát közel egyforma eséllyel indulhat a társadalmi versenyben, aminek célja anyagi és szellemi értéket, köznapian szólva jövedelmet létrehozni.

Ez lenne az első, a szerényebb követelmény. Ma már azonban nem elegendő országos léptékben gondolkodni. Magyarország számára, ha valóban fel akar zárkózni a „fejlett Nyugathoz”, elengedhetetlen, hogy egész Kelet-Közép-Európáról egyetlen blokkban gondolkodjék. Ezt a nagyrégiót lényegében ugyanazok a hátrányok terhelik, ugyanazok a gondok feszítik: a többszáz éves történelmi lemaradás, amit a fél évszázados szocializmus még keményebben megkövesített. Ebből kitörni csak az itt élő kisebb-nagyobb népek együttműködésével lehet, aminek elsőleges előfeltétele – hiszen ezért bontottuk le a vasfüggönnyt! – a közlekedés akadályainak felszámolása, egy jól működő hálózat kiépítése.

A két feltételt pedig, az ország és a nagyrégió korszerű térszerkezetét csak egymással szoros összefüggésben, azonos szerkezetben lehet megvalósítani.

Ezt a szükségletet napjainkra mind többen felismerik. A „fizikai és történelmi tehetetlenség” lendülete azonban sodorta az eseményeket, így tehát a tényleges fejlesztések zöme továbbra is a gyűrűs-sugaras hálózatot konzerválta, sőt erősítette. Igaz, hogy a klasszikus nagy „András-kereszt” kiépítése forgalmi okokból továbbra is szükséges volt, sőt nagyobb részben a korszerű rácsos hálózatba is beilleszthető. Tény azonban, hogy miközben nagy lendülettel és sokszor pazarlóan épültek a sugaras elemek, jóval kevesebb figyelem jutott azokra a kulcs-elemekre, amelyek a korszerű hálózat kezdeményei lennének. Olyannyira, hogy erről a társadalom kezdetben alig vett tudomást, később pedig kudarcént élte meg, hogy az újszerű elemek torzók maradtak, kapcsolatok nélkül lebegnek a térben. Mindenek előtt az M0: a fél-

¹ A 2008. szeptemberi, 36. Útügyi Napokon elhangzott előadás szerkesztett változata

² Okl. mérnök, főtanácsos, KHÉM; e-mail: molnar.laszlo@khem.gov.hu

szélességben kiépült déli szektor, ami már harmadik életében kimerítette tervezési kapacitását, vagy az Északi Duna-híd, aminek használatba vétele körül szégyenletes és hazug vita bontakozott ki. S akkor még nem beszéltünk a nyugati szektorról, amit talán belebetonoztunk a Kőröshegyi völgyhídba... De ilyenek a szekszárdi Szent László híd és a kaposvári elkerülő szakaszok, miközben Szekszárdról eljutni Dombóvárra ma is kalandtúrával ér fel. Ilyen a dunaújvárosi Pentele híd, ki tudja még meddig „sehonnan sehová”. Ilyen a Balatonkenesét és Balatonfűzfőt elkerülő 710. sz. főút, aminek nincs kapcsolata sem az M7 autópályával, sem a 8. sz. főúttal Veszprém felé. Erre példa az egyre veszélyesebb 4. sz. főút, ahol nem tudható, a felemás fejlesztésekből mikor áll össze végre egy teljesítőképés tranzit útvonal Erdély irányában, amint Békéscsaba és a Viharsarok elérhetősége is csak sok vitával, apró lépésekben javul.

Végül is ki kell mondani: Nincsen kiérlelt és tudatosan vállalt, következetesen alkalmazott koncepciónk. Vajon ki a felelős ezért? A politika? Csak a politika? És a Szakma? – így nagybetűvel írva, mint a hozzáértők összessége? Van-e a magyar útépítő szakembereknek legalább a fiókjukban, legalább a fejükben logikus és végrehajtható koncepciójuk? Tudják-e, mit kellene tenni?

HATÁROK NÉLKÜLI KÖZÉP-EURÓPA

Ezen belül, vagy ezen túl, tudják-e, mit kell tenni ott, ahol az úthálózat eléri az államhatárt? Varratmentes Európa! Ugye, milyen szép, képszerű kifejezés! Minden akadály felszámolása a schengeni határokon! A vasfüggöny egy seb volt, de mára behegedt a seb, lehullik róla a pörk is. Tehát akár autópályán robovga, akár faluról falura vándorolva szinte ne is legyen észrevehető, mikor lépünk át egy szomszéd ország területére. De hiszen még országon belül is észrevehető, hol változik az útkezelő személye! Tehát a varratmentes Európához a szomszédok között nagyon jó viszonyra, egyeztetett koncepciókra és napi munkakapcsolatra van szükség. Ma még azonban kapcsolataink a szomszédjainkkal görcsösek és esetlegesek. Sokszor nincs is elképzelésünk a kapcsolat jellegéről, de ha van is, kellő meggyőző erő híján kezdeményéseinket sokszor nem tudjuk elfogadtatni. Esetenként még az igazi partneri viszonyt sem sikerül kialakítani, így végül kényszerpályákra szorulunk.

Közrejártszik ebben, hogy sokszor magyarok egymás között is nehezen jutnak közös nevezőre. Éles viták folynak a határközeli szakaszok gazdaságosságáról, a szomszéd hálózatokhoz való illeszkedésről, pedig látni kellene, hogy a mai gyér forgalom nem marad örökre az. Eklatáns példa erre a 86. sz. főút. Amikor 1972-ben magyar javaslatra az ENSZ Európai Gazdasági Bizottsága a Rédcis–Rajka útvonalat E65 számmal európai főúttá jelölte ki, a 86. sz. főút még csak Körmentől Csornáig vezetett. Zalai és hansági szakasza csak a genfi döntés kedvéért nyer főúti rangot. És bizony be kell vallani, hogy sokáig nem is felelt meg annak a kívánalomnak. A zalai politikuskok még 1983-ban is úgy nyilatkoztak, hogy a rédcis–zalalövői útra fejlesztési pénzt fordítani nem szabad, mert „a megyének az az út nem kell”. Ma pedig ez az ország egyik legproblematisabb tranzit útvonala!

Gyakran hivatkozunk rá, hogy hazánk tranzit ország. Valóban, figyeljünk fel rá, hogy ahol útjaink elérik az országhatárt, sokszor fontos elágazások, csomópontok vannak. A forgalom szervezése során ezt figyelembe kell venni. Rajka és Hegyeshalom – Bécs és Pozsony közelsége révén – a legzsúfoltabb csomópontunk. De sok országot érintő, nagyrégiós csomópontok vannak sok más határunkon is. A Rédcisen Ljubljana és Zágráb felől belépő forgalom három irányban halad tovább, Rajka, Keszthely és Letenye felé. Szeged és Nagylak térsége a dinamikusan fejlődő Romá-

nia, a Balkán és a Közel-Kelet nagy forgalomelosztója. Északkeleti országrészünk pedig éppen a népek fordítóköröngje lehet: A Kárpátalja szűk térségében, három EU-tagország és Ukrajna területén Oroszország és Ázsia forgalma áramlik az egyik irányból, másfelől a Balti-tenger keresi a kapcsolatot a Fekete-tengerrel és a Kelet-Balkánnal. A Nyugat-Balkán ezzel szemben a Duna mentén az V/c folyosón keres kiutat Észak-Nyugat-Európa és a Balti térség felé. Van-e olyan költség-haszon vizsgálatunk, szoftver és adatbázis, ami ezeknek a folyamatoknak az értékelésére alkalmas?

SZUBSZIDIARITÁS

1990-ben általános volt a naiv remény, hogy lerázva a diktatúra láncait, a demokrácia majd mindenre gyógyító balszemet hoz. Ennek varázsigeje a szubszidiaritás, miszerint mindenről azon a szinten születik döntés, ahol ahhoz a legtöbbet értenek. Sajnos nagyon hamar fel kellett ébrednünk ebből a szép álomból.

Hamar napirendre került az 1983 előtti, megyénkénti közúti igazgatóságok rendszerének helyreállítása, és ezzel egyidőben a minisztériumban is újjáalakult a közúti főosztály. Mindkét intézkedés örvendetes volt. A 80-as évek végén ugyanis a több-megyes igazgatóságoknak nagyon sok energiáját emésztette fel a mind zavarosabb helyi politikai viszonyok kezelése, a minisztérium részéről viszont sokszor hiányzott mind a politikai támogatás, mind a szakmai irányítás. A közútkezelők tehát magukra maradtak. Ennek egyrészt kedvező hatása volt, hogy önállóbbá, kezdeményezőbbé váltak, s egymásba kapaszkodva igyekeztek megoldani azokat a problémákat is, amikhez hiába várták a minisztérium támogatását. Másrészt azonban nem egy fontos kérdésben nem sikerült összhangot kialakítani, s az úthálózat képe országos szinten kissé zilálódni kezdett. Sajnálatos, hogy végül a rendteremtés és a demokratizálás dilemmája úgy dőlt el, hogy lépésről lépésre csökkent a helyi kezdeményezés lehetősége, de elsikkadt a helyi felelősség is, a szükséges központi döntések viszont nem születtek meg. Megszülettek ugyanakkor másfajta döntések. A műszaki-gazdasági feladatok helyett ismét a szervezeti-működési forma került előtérbe, s végül kialakult egy túlcenzalizált és bürokratikus rendszer a közúti igazgatás minden területén, amin belül túlzott hangsúlyt kapott a funkcionalitás, miközben a közlekedés és a szakszolgálat szervesen összefüggő ügyei és folyamatai széthullottak.

FINANSZÍROZÁS

Az úthálózat finanszírozását ebben az időszakban kapkodás és zűrzavar jellemezte. A gondok hátterében, a koncepció, szervezet, hatáskör mögött természetesen mindvégig ott magasodott a pénz, a finanszírozás kérdése. A magyar úthálózat szempontjából hatalmas siker volt, hogy a 70-es években, még a szocialista világrendet megrázó nagy krízisek előtt, sikerült átmenteni a „pre-motorizációs” korszakból megörökölt úthálózatot. A 80-as években felgyorsult motorizáció azonban a 90-es években még jobban felpörgött, s az úthálózat feladatai hatványozottan megsaporodtak. A járműállomány 130-140-szeresére nőtt. Ezen belül a kamionok nemcsak számszerű arányukban szaporodtak meg, de megengedett tengelyterhelésük is 115 kN-ig növekedett, ami önmagában kétszeres igénybevételt jelent. A teherforgalom belül erőszakosan és követelően megnőtt a tranzit aránya is, ami bevételt alig hoz az országnak, viszont kárt okoz és követeléseket támaszt. A gazdaság működésén belül tehát a közúti szállítás mind nagyobb szerepet kapott. Kézenfekvő, hogy a közúti feltételek teljesítéséhez minden korábbinál jelentősebb forrásokra volt szükség.

Aggodalommal és szomorúan le kell szögezni, hogy noha az áru- és személyszállítás a gazdaság működésének szerves része, és ilyen formában a nemzeti jövedelem egyik forrása, az állam számára az úthálózattal kapcsolatos teendők ma is csak kiadásként jelennek meg. Ezért a fiskális szféra minden eszközzel igyekszik megszabadulni ettől a kötelezettségtől. A másik oldalon viszont az úthasználó sem kíván fizetni. Ez a feloldhatatlannak tűnő ellentmondás jelenik meg abban a kapkodásban és zűrzavarban, amit a finanszírozási megoldások sokfélesége és gyakori változása jelenít meg. A szükséges forrás hol az állami költségvetés, hol az Útalap, hol az Útpénztár címszó alatt található, de a palettát tovább színesíti a hitel, a PPP, az útdíj, a matrica, vagy az EDR.

FOGALMAINK, SZABÁLYAINK

A hazai és az EU-politika számos hangzatos jelszót tűzött ki. Harmonizáció, dereguláció, szubsidiaritás, modernizáció, informatika, tudás alapú társadalom, fenntartható fejlődés, e-ügyintézés, és sorolhatjuk hosszan. Ezek valós jelentését azonban nem tudjuk szabatos definícióba foglalni. Jogszabályban, irányelvben mind az EU, mind hazai hatóságaink tömegtermelést folytatnak, eközben a józan ész, az emberileg magától értetődő megoldások talajt vesztek.

A közlekedés területén is burjánzanak a mind a Szakma, mind a társadalom számára tisztázatlan, homályos fogalmak. Közlekedés, mobilitás, logisztika, informatika, rekonstrukció, ilyen táv, meg olyan táv – naponta használt fogalmak, amiket sokan nem értenek, sokan eltérő tartalommal használnak. Szakszavaink között ilyen pl. az autótűt. Definíció mégcsak akad rá, több is, melyek persze nem vágnak egybe. Így a tényleges műszaki jellemzők szinte terveként és szakszonként változnak. De már-már viccnek tűnik az autópályán az a felirat is, hogy „A leállósávon állni veszélyes!”

Valójában azt sem tisztáztuk, mi a közlekedés helye, szerepe a modern világban. A híres Fehér Könyv sem tisztázza igazán, mi a közlekedés helye-szerepe az Európai Unióban. És ezen belül Közép-Európában, a Kárpát-medencében, Magyarországon? És tovább lebontva: Mi a közlekedési Szakma szerepe, feladata napjaink magyar társadalmában?

Nézzünk körül! Büszke ünnepséget rendezünk minden autópálya-szakasz felavatásakor. Ugyanakkor mit él meg az autós? Budapesten a Margit hídtól a Rákóczi útig, vagy az Erzsébet híd tengelyében a Nagykörúttól a Hegyalja útig csúcsidőben egy-másfél óra az út. A 4., a 86. vagy a 43. sz. főúton kamion-csordák között utazunk. 8-10-es oszlopokban követik egymást a nyerges vontatók, és utasítják libasorba a többi járművet. A főutak tele nyomvályúval és elégtelen teherbírásról tanúskodó repedésekkel. Az alsóbbrendű utakról pedig jobb nem is beszélni. Egy kirándulás, vagy rokonlátogatás a Tiszahátra, az Ormánságba vagy a borsodi dombok közé nagyobb kaland, mint egy dzsungel-utazás.

Mit jelent tehát az autópálya-avatás? „Fenn az ernyő, nincsen kas”. Maximalizmus, ahol építünk, lepusztultság és igénytelenség a háttérben. Pazarolunk és garaszkodunk egyidejűleg. Mondottuk, cél a felzárkózás. De hiányoznak az eszközök, illetve ha vannak, elfecséreljük a lehetőségeket. Matematikailag mindig rákérdezzünk a hatékonyságra – összességében pazarlunk. MÉRLEGELEK-E? S ha igen, miért ilyen sok hibával? Ki a hibás? A mérleg? A rendszer? A mérlegelő?

PÁRBESZÉD A TÁRSADALOMMAL

A közlekedés egészének, a fejlesztéseknek és szolgáltatásoknak a társadalom érdekeit kell szolgálniuk. De vajon van-e értő kommu-

nikáció a közlekedési szakma és a társadalom között? Ha a közlekedési szakma meg van győződve ténykedése jelentőségéről, tájékoztatja-e erről a társadalmat? Másrészt: felmérte-e a társadalom a közlekedés és a közlekedési infrastruktúra jelentőségét? Ha igen, megfogalmazta-e ennek követelményeit, felmérte-e és megadta-e a szükséges feltételeket? És amit megadott, azzal mit kezdett a szakértői gárda, hogyan gazdálkodott vele? Ha pedig nem adta meg, megtett-e minden lehetőt a Szakma, hogy mulasztásának következményeire ráébredje a társadalmat?

Be kell vallani, hogy a magyar közlekedési szakma kommunikációja defenzív. A társadalommal napi szoros kapcsolatban van, de ez egyik irányban sem tudatos. A közlekedési sajtó rendre részletkérdésekkel foglalkozik. A LÉT kérdése – Navigare necesse est – szóba sem kerül. A társadalom nem tudja, hogy minden mozdulata bizonyos mértékig, bizonyos értelemben közlekedés. A Szakma pedig nem mérte fel igazán a maga határait, és erről kifelé nem beszél, inkább befelé fordul.

Égető szükség van tehát a szervezett, átgondolt, vonzó, kezdeményező és agitatív kommunikációra! Egy rádió- és egy tv-adóra, heti műsorra, olvasmányos újságra és rovatokra. Nem egy-egy osztályfőnöki órára, hanem a közlekedés szerepének, a közlekedési magatartásnak beépítésére az iskolai tananyag egészébe, szemléltetve a közlekedés gazdasági, társadalmi és földrajzi vetületeit és megtanítva a fiatal nemzedéket a közlekedés alapvető társadalmi szempontjaira.

POLITIKA, KORMÁNYZAT ÉS SZAKMA

Az imént elmondottak zömmel a politikára is igazak. A politika az utóbbi húsz évben ugyan megérezte végre, hogy a társadalom, ha tudattalanul is, milyen érzékenyen reagál a közlekedési kérdésekre – gondoljunk csak Torgyán József matrica-kampányára! –, de nem ásott mélyre. A közlekedést ma is agitációs eszköznek tekintik, és szavazatszerző erőforrásként kezeli.

A kormányzat pedig kiszolgálja a politikát, anélkül, hogy a szakmai irányítás feladatait ellátná, felelősségét vállalná. A Szakma a maga természete és logikája szerint kezdeményez ugyan, de a szakmai szempontokat, követelményeket nem tudja következetesen érvényesíteni. Többnyire el sem jutnak az ügyek az érdemi tárgyalásig, s a Szakma végül meghajlik a felsőbbbség nyomása előtt.

A képviselői demokrácia természetéből következik, hogy a fontos döntéseket a politika hozza meg. A döntési alternatívákat azonban a Szakmának kell kidolgoznia, s a politika és a kormányzat csak ezeket mérlegelve dönthetne, csak ezek közül választhatna. No de ha a Szakma nem tud felmutatni kiérlelt alternatívákat, a politika magára marad, s joggal hiszi azt, hogy ezekben a kérdésekben is ő az illetékes, döntésre képes szereplő. Nem meglepő hát, ha ilyen esetekben szakmailag hibás döntések születnek, amik társadalmilag károsak és még jó, ha csak pazarlóak, s nem a közös jövőt torzítják el.

Valójában tehát a társadalom egyetlen rétege sem ismerte fel a közlekedés jelentőségét. Maga a közlekedési szakma sem!

DIAGNÓZIS UTÁN TERÁPIA

„Van feladat, melyet nem lehet a Gondviselésre bízni, könyörtelenül el kell végeznünk, egyedül.” – írja Márai.

Nos hát, mi is ez a feladat?

Csodaszer nem létezik. De ha csupán az eddig elmondottaknak rendre az ellentettje valósulna meg, vagy legalább kicsírázna, máris nagy lépés lenne előre.

Mai állapotaink mögött fásultság, közöny, önzés, hiúság, megalkuvás, hatalomvágy és az individualizmusnak még számos betegsége rejtőzik. Ezek leküzdésére csak egy egészséges és szerkezetében jól rétegzett társadalom képes.

A közlekedési mérnökök közösségének, a Szakmának mindenk előtt a hivatás tudatosságát kell helyreállítania. Ennek tényezői az öntudat, céltudat, felelősségtudat. Erősíteni kell a társadalmi és környezeti érzékenységet. Komplexebben kell látni a szakmai munka hatásait és ezeket nagyobb súllyal, őszintébben kell figyelembe venni. A szakmai szempontok, követelmények mellett határozottabban, meggyőződéssel és meggyőző módon ki kell állni. S késznek kell lenni mindig minden őszinte, jó akaratú együttműködésre. Mindenek előtt egymással, a szakértői közösségen belül, de a Szakma nevében a társadalom minden más rétegével is.

Komolyan kell venni a hivatás értékrendjét, szakmai és emberi meggyőződésünket. A rövid távú érdekek, a siker, a nyereség, a pozíció előtt, vagy legalább amellet felelősséget kell érezni és vállalni az élő társadalomért és a jövő generációkért. S e meggyőződés mellett határozottabban ki kell állni, ki kell tartani minden külső nyomással szemben, jöjjön az akár a politika, akár a globális tőke, akár valami populista ideológia irányából.

A közelmúltban egy rövid hír szólt arról, hogy Hollandia újfent milyen nagy erőfeszítéseket tesz, hogy megvédje magát a tenger újabb támadásaival szemben. Eszünkbe juthat, hogy hiszen már Goethe Faustja is a gátépítő hollandok láttán kiált fel:

„zum Augenblicke dürft' ich sagen,
verweile doch, du bist so schön”.

„Ha egyszer így szólnék a perchez:
oly szép vagy, ó maradj, ne menj!”
(Ford.: Jékely Zoltán)

Németalföld népe, lám évszázadok mindig megújuló küzdelmét sem érzi reménytelennek. Ugyanígy a magyar mérnök, a magyar nép sem adhatja fel. Mindig arra kell gondolnunk, hogy unokáinkra mit hagyunk örökül!

SUMMARY

GOAL AND HESITATION

The aim of the road sector has always been to fall into line with the EU average. Plans and developments of the national public road network in the past 20 years only partially fitted to a multi-centred well balanced spatial structure. In the present Central Europe without borders roads do not stop leaving the country but form a network of larger scale. Centralised road administration is sometimes not in conformity with principles of subsidiarity and democracy. Financial policy in the road sector is not clear and often changing. Role of road professionals in the society is undefined while road-related communication is rather poor. Importance of transport seems unclear for governmental and political forces. Professionalism, enthusiasm, confidence, conviction and persuasion may help in achieving our goal.

KTE DIPLOMAMUNKA-DÍJASOK 2008-BAN

A KTE ez évben is kiírta immár hagyományosnak tekinthető diplomaterv-pályázatát az Egyesület szakmai területeihez kapcsolódó felsőoktatási intézmények végzős hallgatói számára. A pályázati felhívásra összesen 18 pályamű érkezett. A Diplomamunka Pályázati Bizottság a pályázatokat értékelte, rangsorolta és javaslatát az országos Elnökség elé terjesztette. Az Országos Elnökség döntése alapján a következő pályázók, illetve diplomamunkák részesültek díjazásban.

I. DÍJ

Szűcs Edina

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki Kar

Logisztikai kontrollring rendszer kialakítása a Robert Bosch Elektrotechnikai Kft.-nél

Ambrus Dávid Viktor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar

Aszfaltkeverékek merevségvizsgálatának összehasonlító értékelése

II. DÍJ

Mészáros Antal

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki Kar

GPS/GPRS alapú járműkövető rendszer a Tisza Volán Zrt-nél

Kózel Miklós

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki Kar

Bus Rapid Transit (BRT) forgalom megvalósítási lehetőségeinek vizsgálata Budapest közforgalmú közlekedésében

Gubán Péter

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar

Kálvin téri részelt állomás munkatér-határolása

Bálint András

Széchenyi István Egyetem Műszaki Tudományi Kar

Kecskemét Megyei Jogú Város közúti közlekedési hálózatának modellezése és fejlesztése

Németh László

Széchenyi István Egyetem Műszaki Tudományi Kar

Balesetsűrűsödési helyek vizsgálata Zala megye országos közúthálózatán

III. DÍJ

Lantos Zoltán

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar

Tata, Körmei út korszerűsítése

Karmos Judit Mária

Budapesti Corvinus Egyetem

A Nemzeti Közlekedési Hatóság ellenőrzési tevékenységének elemzése

AZ EUROCODE GAZDASÁGI KÖVETKEZMÉNYEIRŐL

DR. HABIL JANKÓ LÁSZLÓ²

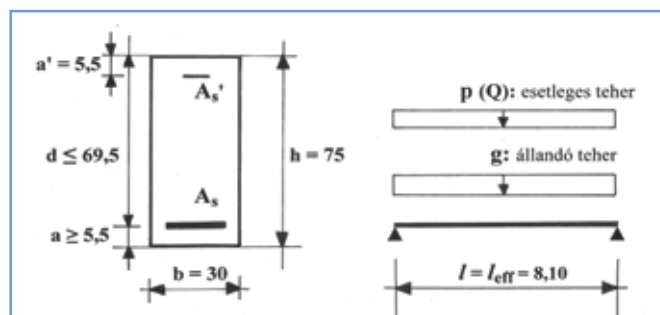
1. BEVEZETÉS

Ebben a cikkben azt vizsgálom meg, hogy egy átlagos magas-építési vasbeton gerendához, a szokásos hasznos terhek tartományában mekkora hajlítási acélbetét-mennyiség szükséges az MSZ, és mekkora az EC szerint.

2. A VIZSGÁLT SZERKEZET A HASZNOS TERHEK (FUNKCIÓK SZERINT)

A kéttámaszú, monolit vasbeton gerenda előregyártott, előfeszített elemekből álló vasbeton födémet hord. Ennek megfelelően nincs együttműködő szélesség az 1. ábrán. A vizsgálandó anyag-pazarlási jelenség lényege azonban T-keresztmetszet esetén is katasztrofális.

Mindenekelőtt felírtam az MSZ és az EC szerint számítható tiszta hajlítási nyomatéki igénybevételek közismert, egyszerű számítási alakját mind teherbírási, mind használhatósági (repedéskorlátozási) vizsgálatokhoz.



1. ábra: Az MSZ és az EC alapján vizsgált vasbeton szerkezet

Az MSZ szerinti mértékadó nyomaték:

$$M_M = g(\gamma_g + \gamma_p p/g)l^2/8$$

$$\gamma_g = 1,20 \text{ és } \gamma_p = 1,20-1,40$$

Az MSZ szerinti használati (üzemi) nyomaték:

$$M_h = g(1 + \psi_{MSZ} p/g)l^2/8$$

$$\psi_{MSZ} = 0,0, 0,5, 1,0$$

Az EC szerinti tervezési nyomaték tartós hatáskombinációból (teherbírási határállapothoz):

$$M_{Ed} = g(\gamma_G + \gamma_Q p/g)l^2/8$$

$$\gamma_G = 1,35 \text{ és } \gamma_Q = 1,50$$

Az EC szerinti tervezési nyomaték kvázi-állandó hatáskombinációból (használhatósági határállapothoz → repedéskorlátozáshoz):

$$M_{ser} = g(1 + \psi_2 p/g)l^2/8$$

$$\psi_2 = 0,0; 0,3; 0,6; 0,8$$

Felhívom a figyelmet arra, hogy az EC-ben a hasznos terhek karakterisztikus értékei általában jóval nagyobbak, mint az MSZ-beli alapértékek. Pl. lakások esetén az EC-ben $Q = p = 2,0 \text{ kNm}^2$, míg az MSZ-ben $p = 1,5 \text{ kNm}^2$. Vagy pl. irodák esetén az EC-ben $Q = p = 3,0 \text{ kNm}^2$, míg az MSZ-ben $p = 2,0 \text{ kNm}^2$. Ugyanakkor az EC szerinti ψ_2 ún. teherszint tényezők (egyidejűségi tényezők) sok esetben kisebbek ($\psi_2 = 0,3, 0,6, 0,8$), mint az MSZ szerinti $\psi_{MSZ} = 0,5$, illetve 1,0 tartóssági tényező. (1. táblázat).

Az érdekesség kedvéért a 2. ábrán azt mutatom be, hogy miként alakulnának az MSZ és az EC szerinti igénybevételek arányai, ha azonos nagyságú p hasznos terheket vennénk alapul. A fenti összefüggéseknek az ábrán az alábbi alakjait használtam:

1. táblázat: A vizsgált hasznos terhek (KN^2)

Megnevezés	Rendeltetés					
	1. lakás	2. iroda	3. előadóterem, beépített bútorokkal	4. áruház	5. raktár	
MSZ	p_{MS}	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
	ψ_{MSZ}	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0
EC	p_{EC}	2,0	3,0	4,0	5,0	7,5
	ψ_2	0,3	0,3	0,6	0,6	0,8

Megjegyzés: az EC szerinti értékek a minimálisan előírt teher nagyságok (EN 1991-1-1, MSZ EN 1991-1-1 NM).

ψ_{MSZ} – egyidejűségi tényező

ψ_2 – egyidejűségi tényező kvázi-állandó teherkombinációra (teherszint tényező)

¹ Okleveles építőmérnök, statikus szakfőmérnök, egyetemi magántanár, Főmterv Zrt.

– Teherbírési határállapothoz:

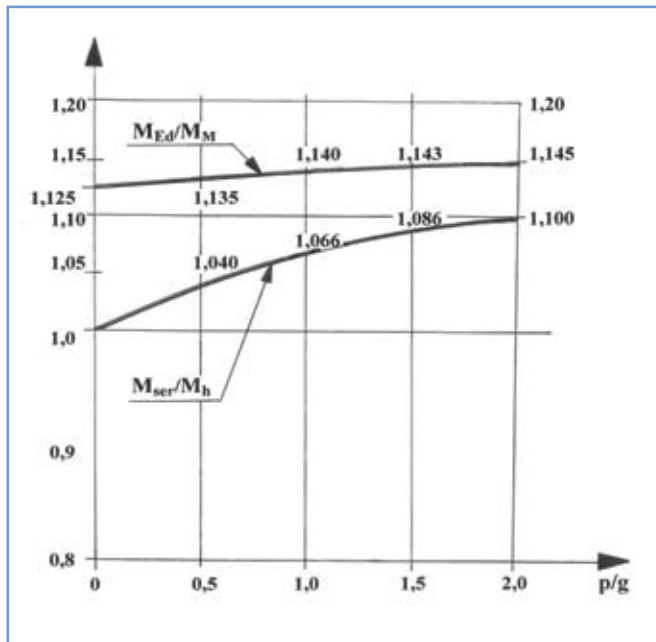
$$M_{Ed}/M_M \approx (1,35 + 1,50p/g)/(1,20 + 1,30p/g)$$

– Használhatósági határállapothoz (repedéskorlátozás):

$$M_{ser}/M_h \approx (1 + 0,6p/g)/(1 + 0,5p/g)$$

A diagramok teljesen hamisak, mert nem tartalmazzák azt, hogy az EC szerinti $p = p_{EC}$ hasznos teher karakterisztikus értékek (alapértékek) jóval nagyobbak lehetnek, mint az MSZ-beli $p = p_{MSZ}$ alapértékek.

Ezek a fiktív diagramok szándékom szerint még jobban kiemelik azt a tényt, hogy a 3. ábrán látható valóságos hajlítónyomatékok M_{Ed}/M_M arányai igen nagy mértékben meghaladják az 1,0 értéket. Vagyis, a teherbírési számításokhoz most meghatározott EC szerinti nyomatékok sokkal nagyobbak, mint az MSZ szerintiek.



2. ábra: Az EC és az MSZ szerinti fiktív tiszta hajlítási igénybevételek arányai

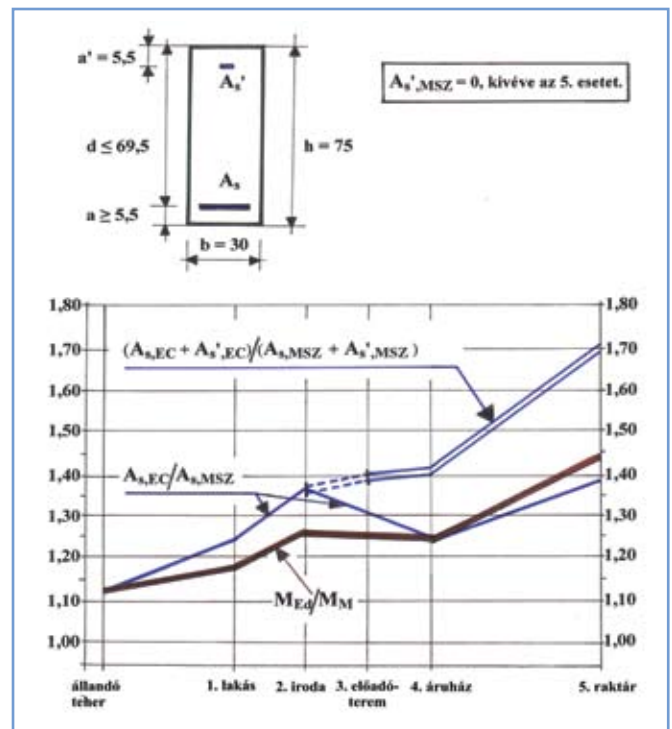
3. SZILÁRDSÁGI VIZSGÁLATOK

3.1. TEHERBÍRÁSI VIZSGÁLATOK

Szilárdsági számításaimat a 2. táblázatbeli igénybevételekre végeztem el. Az alkalmazott anyagminőségek: B60.50 és C20/25, illetve S500B és C20/25.

A 3. ábrán egyrészt feltüntettem a hajlítási teherbírési vizsgálathoz szükséges mértékadó (tervezési) nyomatéki igénybevételek M_{Ed}/M_M arányát hat különböző mértékű terhelés függvényében (önsúly + 1.–5. hasznos terhelési típus). Látható, hogy az EC szerinti nyomatéki igénybevétel növekedése eléri a 25–43%-ot is.

Ugyanakkor az EC szerinti vasalás növekedése az MSZ igényelté vasaláshoz képest sok esetben ennél jóval nagyobb mértékű. Egyrészt a húzott vasalás $A_{s,EC}/A_{s,MSZ}$ aránya elérheti az 1,25 – 1,40 értéket, másrészt az A_s húzott vasalás és az A_s' nyomott vasalás $A_s + A_s'$ összegének a két szabályzat sze-



3. ábra: A tervezési (d) és a mértékadó (M) igénybevételek aránya. Az EC és az MSZ szerinti teherbírési acélbetét-szükségletek aránya

rinti $(A_{s,EC} + A_{s',EC})/(A_{s,MSZ} + A_{s',MSZ})$ aránya 1,40 – 1,70 is lehet! A legjelentősebb növekedés (70%) raktárak esetén adódik. Szerencsére a raktárak nem a legjellegzetesebb magasépítési szerkezetek.

Jól látható, hogy az M_{Ed}/M_M igénybevétel-arányokat általában jelentősen, illetve esetenként igen nagymértékben meghaladják az $A_{s,EC}/A_{s,MSZ}$ és az $(A_{s,EC} + A_{s',EC})/(A_{s,MSZ} + A_{s',MSZ})$ vasalási arányok. A többlet kb. 0%–5%–10%–13% –14% –19% mértékű.

Az 1. és 2. terhelési esetben ennek az az oka, hogy az EC szerinti $N_{s1} = A_{s,EC} \cdot f_{yd}$ húzóerők növekedésével együtt az MSZ-énél kisebbek lesznek a belső erők karjai. Emiatt többlet húzott acélbetétekre van szükség (nyomott vasalás itt még nem kell).

Az 3., 4. és 5. terhelési esetben a nyomott betonzóna önmagában nem tudja felvenni a fellépő nyomóerőt, ezért egyre több nyomott vasalásra van szükség. Az MSZ esetében viszont csak az 5. terhelési esetben kell egy kevés nyomott vas.

Az MSZ szerinti gerendához az 5. terhelési eset (raktár) kivételével elegendő csak húzott vasalást (A_s) alkalmazni. A nyomott vasalás (A_s') az 5. terhelési esetben is csekély; ekkor $x \approx 0,93x_0$. Ez egy ténylegesen raktárfödémként megépült gerenda, amelyet ebben a cikkben a bemutatott más terhelésekre is megvizsgáltam.

Az EC szerint viszont a gerenda nagyon gazdaságtalan. Igen sok a húzott vasalás (A_s), sőt a 3. terhelési esettől kezdve (előadóterem) nyomott vasalás is szükséges (A_s'). Persze a nyomott vasalás növelése helyett – ha erre van lehetőség – a betonkeresztmetszet növelése a gazdaságosabb. Ez a körülmény azonban nem változtat az anyagpazarlási lényegen.

2. táblázat: Az igénybevételek

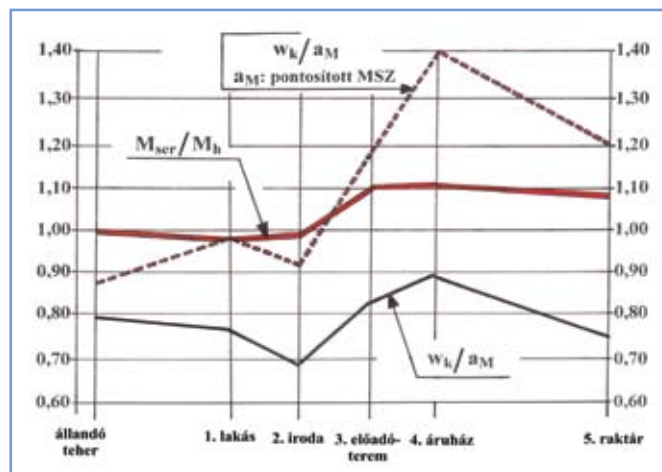
Megnevezés	Teherbírási határállapot			Használhatósági határállapot		
	MSZ mértékadó M_M	EC tervezési (d), tartós hatás-kombinációból M_{Ed}	M_{Ed}/M_M	MSZ használati (repedéskorlátozás) M_h	EC kvázi-állandó hatás-kombinációból (repedéskorlátozás) M_{ser}	M_{ser}/M_h
Állandó teher	$1,2 \times 346,25 = 415,5$	$1,35 \times 346,25 = 467,5$	1,125	346,25	346,25	1,000
1. lakás	$1,2 \times 346,25 + 1,4 \times 70,12 = 513,7$	$1,35 \times 346,25 + 1,5 \times 93,49 = 607,7$	1,18	$346,25 + 0,5 \times 70,12 = 381,3$	$346,25 + 0,3 \times 93,49 = 374,3$	0,98
2. iroda	$1,2 \times 346,25 + 1,3 \times 93,49 = 537,1$	$1,35 \times 346,25 + 1,5 \times 140,24 = 677,8$	1,26	$346,25 + 0,5 \times 93,49 = 393,0$	$346,25 + 0,3 \times 140,24 = 388,3$	0,99
3. előadóterem	$1,2 \times 346,25 + 1,3 \times 140,24 = 597,8$	$1,35 \times 346,25 + 1,5 \times 187,0 = 747,9$	1,25	$346,25 + 0,5 \times 140,24 = 416,4$	$346,25 + 0,6 \times 187,0 = 458,5$	1,10
4. áruház	$1,2 \times 346,25 + 1,3 \times 187,0 = 658,6$	$1,35 \times 346,25 + 1,5 \times 233,74 = 818,1$	1,24	$346,25 + 0,5 \times 187,0 = 439,8$	$346,25 + 0,6 \times 233,74 = 486,5$	1,11
5. raktár	$1,2 \times 346,25 + 1,2 \times 233,74 = 696,0$	$1,35 \times 346,25 + 1,5 \times 350,61 = 993,4$	1,43	$346,25 + 1,0 \times 233,74 = 580,0$	$346,25 + 0,8 \times 350,61 = 626,8$	1,08

Az $l = 8,1$ m hosszú, kéttámaszú gerenda tehergyűjtő szélessége keresztirányban: $t_0 = 5,7$ m.

A most tárgyaltnál kisebb viszonylagos önsúly esetén a helyzet még rosszabb, hiszen akkor nagyobb szerepet kapnak az MSZ-enél jóval nagyobb mértékadó (tervezési) hasznos terhek.

3.2. HASZNÁLHATÓSÁGI VIZSGÁLAT: REPEDÉSKORLÁTOZÁS

Az EC és az MSZ előírta használhatósági ellenőrzések közül itt most csak a repedéskorlátozással foglalkozom.



4. ábra: A használhatósági igénybevételek aránya (repedéskorlátozás). Az EC és az MSZ szerinti repedéstágasságok aránya (a teherbírási acélbetét-szükségletekkel)

Megvizsgáltam, hogy a 3.1. pontbeli teherbírási acélbetét szükségletekkel kielégíthető-e egy gyakran felmerülő $a_H = 0,3$ mm, illetve $w_k = 0,3$ mm mértékű repedéstágassági korlát. Azt találtam, hogy igen. Tehát úgy az MSZ, mind az EC szerint – ilyen repedéstágassági határok esetén – a teherbírási igények kielégítéséhez szükséges több hajlítási vasalás, azaz a teherbírás a mértékadó.

A 4. ábrán egyrészt feltüntettem a repedéskorlátozási vizsgálathoz szükséges használati (üzemi) nyomtatéki igénybevételek M_{ser}/M_h arányát hat különböző mértékű terhelés függvényében (önsúly + 1.–5. hasznos terhelés típus). Látható, hogy az EC szerinti nyomtatéki igénybevétel növekedése jóval kisebb mértékű, mint a 3. ábrán. Legfeljebb 11% nagyságú a többlet (vö. a 2. táblázattal). A számított repedéstágasságok között azonban jóval nagyobb az eltérés.

A 4. ábrán bemutattam azt is, hogy a 3. ábra szerinti teherbírási hajlítási acélbetét-mennyiségekkel mekkorák a repedéstágassági arányok: w_k/a_M . Itt w_k a repedéstágasság karakterisztikus értéke az EC szerint és a_M az MSZ szerinti mértékadó repedéstágasság. A megfelelő folytonos diagram az ábra alsó részén található. E szerint az EC alapján adódik kisebb repedéstágasság.

Az „MSZ szellemiségű” eljárásnak van egy pontosított változata (Kármán Tamás). Az ezzel számított értékeket látjuk szaggatott vonalakkal ábrázolva az ábra felső részén. Figyelemre méltó, hogy ezzel a pontosított MSZ-eljárással a repedéskorlátozási acélbetét-szükséglet esetenként sokkal kisebb, mint az EC megkívánta acélbetét-szükséglet. (Amint már említettük, ennél az ábránál a 3. ábrához szükséges teherbírási acélbetét-mennyiségeket vettük alapul.)

A bemutatott 1.–5. tehertartományban, az EC szerint eljárva, viszonylag kevésbé változnak a repedéstágasságok. Kb. 16% az eltérés a legkisebb és a legnagyobb érték között. Ugyanakkor a pontosított MSZ-eljárásnál ez az arány eléri a 63%-ot is. A szokásos MSZ-eljárás esetén kb. 32% a legnagyobb eltérés mértéke.

Egy érdekesség: a most bemutatott, EC szerinti w_k repedéstágasságok számításánál a berepedt, húzott beton zóna nyúláscsökkentő hatása (az ún. tension stiffening) legfeljebb 13% mértékű volt. Azzal a terjedelmes számítási eljárással...

Felhívom a figyelmet arra is, hogy a magyarországi vasbeton-híd-építésben a repedéskorlátozás a mértékadó. Mivel a hídszabályzatba belekerült az előzőekben pontosított MSZ-eljárásnak nevezett számítási módszer, ma már a vasbeton hidak területén is jóval kisebb az acélbetét-szükséglet, mint azelőtt. Ugyanakkor a vasbeton hidaknál jóval szigorúbbak a repedéstágassági korlátok: $w_{H1} = 0,20-0,25$ mm. Megjegyzem, hogy a VB86/2002 programmal már mintegy 22 éve el tudjuk végezni ezt a gazdaságos eredményre vezető számítást. Ezzel azonban itt és most nem foglalkozom.

4. AZ EUROCODE ÉRTÉKELÉSE

Mindenekelőtt kiemelem azt, hogy több évtizedes szakmai tapasztalatom során alig talákoztam olyan hazai szerkezetkárosodásokkal, amelyek teherbírasi hiányra vezethetők vissza. A szerkezeteink zöme *korrosziós károsodásokat* szenved (karbonátosodás, repedések stb.). Ennek megfelelően *műszaki, szakmai indokát nem látom* az EC-beli drasztikus teherbírás-növelésnek.

Azt sem látom, hogy az előírt hazai magasépítési hasznos terhelések nem lennének megfelelőek. Az persze igaz, hogy raktárak, üzemek/gyárak esetében a technológia különleges mértékű terheléseket írhat elő.

Az Eurocode szabályzatrendszer értékelésekor én főleg az alábbi szempontokat vizsgáltam meg:

- Tartalmazza-e a legújabb szakmai ismereteket?
- Áttekinthető, világos, tömör, szemléletes, felhasználóbarát, könnyen kezelhető-e?
- A szabvány használatával csökken-e a tervező mérnökök már ma is igen nagy munkája?
- A szabvány hozzásegíti-e a tervező mérnököket gazdaságosabb szerkezetek tervezéséhez?

Az *a)* kérdés értékelése újabb cikket kíván (az újdonságok valódi értékéről). A *b) – d)* kérdésekre egyértelműen *nem* a válaszom. A *d)* kérdés elemzése azt mutatja, hogy Magyarország ezen a területen is igen nagy kiadások előtt áll.

Az általam vizsgált átlagos kialakítású, gyakran előforduló hasznos terhű (funkciójú) magasépítési szerkezet esetében az EC szerint 40–70%-kal több acélbetétre is szükség lehet. Ez elfogadhatatlan. Ennek könnyen megnevezhető felelősei vannak.

A helyzet még ennél is rosszabb. Ugyanis az MSZ szerinti állandó terhek szorzóját 2000-ben $\gamma_g = 1.1$ -ről megemelték $\gamma_g = 1.2$ -re. Az ezt elkövető személyek kötelesek a mérnök társadalmat és az ország közvéleményét arról tájékoztatni, hogy volt-e ennek a diktátumnak műszaki háttere. Én nem látok ilyesmit. Ez a lépés is rengeteg indokolatlan költséget rótt az országunkra. Ezt a körülményt is figyelembe véve a fenti 40–70% többlet tovább növekszik, kb. 43–75%-ra.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Kimutattam, hogy egy átlagos magasépítési vasbeton gerenda esetében, szokásos hasznos terhelések (funkciók) mellett az Eurocode szerint legalább 40–70%-kal több hajlítási vasalás szükséges, mint az MSZ szerint.

Az Eurocode terjesztői mondhatják a fentiekre, hogy sok más szerkezetre kiterjedő részletes elemzésekkel esetleg, bizonyos területeken, kissé kedvezőbb eredményekre lehetne jutni. Nos, várjuk az esetenkénti némileg kedvezőbb eredményeket. El lehet kezdeni a már 10-15 éve elmaradt „hatáselemzés” elkészítését. Nyírásra is, külpontos nyomásra is, átszűrődésre is stb.

A közérdek érvényesülése céljából ezeket a megdöbbentő tényeket nyilvánosságra kellett hoznom. Ez nem maradhat így. Ez egyértelműen olyan súlyos, az egész mérnöki közösséget érintő szakmai ügy, ami egyben osztársadalmi ügy is. Így is illene hozzáállni.

SUMMARY

ON THE ECONOMICAL CONSEQUENCES OF THE EUROCODE

This paper deals with simple, pure bent reinforced concrete beams in the field of structural engineering. The imposed (live) loads are usual. We investigated the question how many reinforcing steel quantities are required according to the MSZ (Hungarian Standard) and according to the Eurocode. It was found that in our case the Eurocode leads to uneconomical design. Our computations according to the Eurocode yielded reinforcing steel quantities 25% to 40%, 70% greater than those computed by the MSZ. This result means a very grave problem. Something must be done about it.

700 Ft